

310.565

# ATOMKI

## KÖZLEMÉNYEK

10. kötet

2. szám

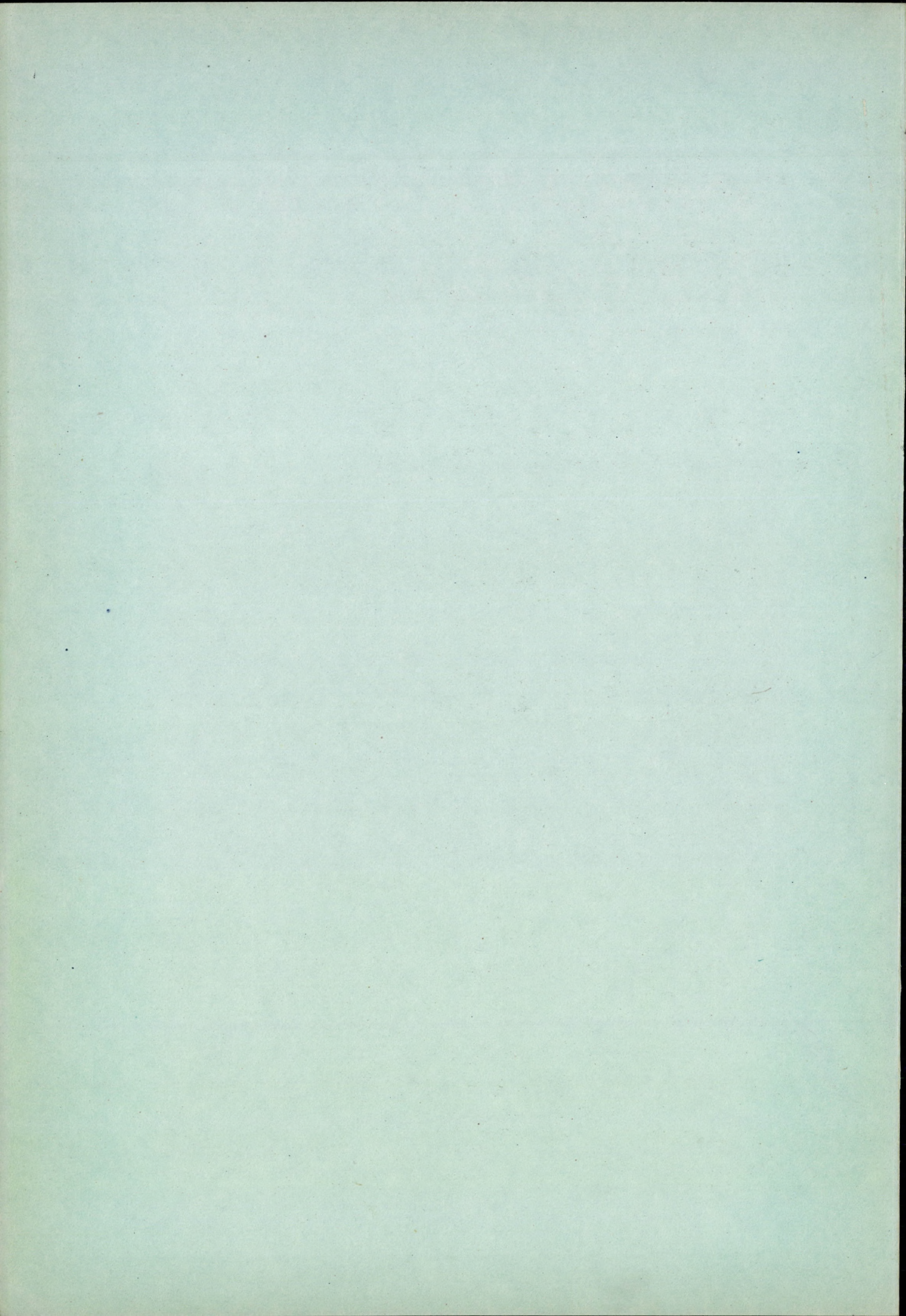
### M E L L É K L E T

MTA  
ATOMMAG KUTATÓ INTÉZETE  
DEBRECEN

1968. október

2







# ATOMKI

## BULLETIN

Volume 10    Number 2.

### S U P P L E M E N T

#### CONTENTS

A. Szalay

#### BASIC TECHNIQUES OF PHYSICAL EXPERIMENTING

#### Contributors:

*I. Berecz*

*B. Sebestény*

*L. Medveczky*

*J. Szabó*

Part I.



# АТОМ КІ

## СООБЩЕНИЯ

ТОМ 10

№2

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### СОДЕРЖАНИЕ

А. Салаи

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Составители - сотрудники:

И. Берец

Б. Шебенгтен

Л. Медвецки

Й. Сабо

Том I.



Szalay Sándor

A FIZIKAI KISÉRLETEZÉS  
TECHNIKAI ALAPJAI

*Berecz István, Medveczky László, Sebestyén Béla és Szabó József*  
közreműködésével

I. R é s z







## Tartalomjegyzék

|  |    |
|--|----|
| Előszó   | 2  |
| Bevezető alapismeretek   | 3  |
| Alapvető kísérleti-technikai forrásmunkák jegyzéke                                   | 3  |
| Elemi óvatossági rendszabályok a laboratóriumban                                     | 4  |
| Ellátó hálózati (gáz, víz, villany) veszélyek  | 5  |
| Vegyianyagokkal kapcsolatos veszélyek  | 6  |
| Radioaktív laboratóriumok veszélyei  | 8  |
| Laboratóriumi jegyzőkönyv és beszámoló   | 10 |
| Mérőberendezés tervezése   | 11 |
| Gyakorlati szempontok mérőberendezés tervezésénél                                    | 11 |
| Műszertervezés elvi mechanikai alapjai   | 12 |
| Kinematikai tervezés   | 13 |
| Kényszerek alkalmazása   | 14 |
| "Degenerált" rendszerek  | 17 |
| Sztatikai megfontolások kinematikai tervezésnél                                      | 20 |
| Két szilárd test viszonylagos megengedett mozgásának kinematikus tervezése           | 21 |
| Igények a kivitelezés pontossággal szemben, kinematikus és nem kinematikus esetekben | 23 |
| Tengely körüli forgómozgás kinematikus tervezése                                     | 26 |
| Csapágyak  | 28 |
| A kinematikus elvek további alkalmazásai   | 29 |
| Mechanikai alkatrészek precíz összeszerelése   | 31 |
| Rugalmas kényszerek  | 31 |
| Berendezések egyensúlyozási problémái  | 34 |
| Mérőberendezések jusztirozása  | 35 |
| Jusztirozási alapelvek   | 35 |
| Műszerek rezgésmentes felállítása  | 37 |
| Laboratóriumok kondicionálása  | 40 |
| Klimaberendezések  | 40 |
| Laboratórium kondicionálása  | 40 |
| Termosztátok   | 41 |
| Elektromos szárítószekrények és kemencék   | 45 |







## ELŐSZÓ

A természet jelenségei abban a reális anyagi világban játszódnak le, amelyben a fizikus az anyaggal nemcsak az elvont "tömegpont", "merev test" stb. formákban találkozik, amelyek papíron, tollal, a gondolkodás kiépített logikai készségével, könnyen kezelhetők. A tudományos ismeretek gyakorlati alkalmazásához és előbbre viteléhez a természet alapvető fizikai törvényeinek ismeretén kívül elengedhetetlenül szükség van bizonyos tapasztalatokra, technikai ismeretekre, anyagismeretre, kutatási gyakorlatra. Az ilyen ismeretek képezik az összekötő láncszemet a fizika tudománya és az élet, a gyakorlat között. Uttörő kísérleti kutatók többnyire nagyra becsülik a technikai ismeretek jelentőségét és gyakran hozzájárulnak azok fejlesztéséhez.

Az egyetemi fizikus képzés idejét - már a tárgy magas egzaktsági igényénél fogva is - erősen lefoglalják a matematikai, kísérleti és elméleti fizikai alapismeretek és kevés idő marad az önálló laboratóriumi munka vagy éppen az önálló kutatás elsajátítására. Lényegesen kisebb a gyakorlati oktatás aránya a fizikus képzésben, mint a vegyész képzésben. A hallgatók a szervezett laboratóriumi gyakorlatokon is az idő rövidsége és a csoportos oktatás miatt többé-kevésbé előkészített berendezésekkel dolgoznak, mert nincs idő a laboratórium technikai problémáinak egyedi megoldására.

Valószínűleg ezeknek tulajdonítható, hogy a diploma megszerzése után a kezdő fizikus csak hosszabb idő, évek alatt helyezkedik be jól kísérletes munkakörébe, különösen olyan munkahelyen, ahol idősebb, tapasztaltabb fizikus tanácsára nem támaszkodhatik. Sajnos hazánkban még kevés iparvállalat rendelkezik nagyobb tradíciókkal a fizikai kutatás vagy ipari laboratóriumi fejlesztő munka terén. A kezdő fizikus vezetés nélkül nehezen találja meg a feladatkörét és nehezen küzdi le a laboratóriumi munka technikai nehézségeit.

A debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemen kísérletképpen már 1951-ben, majd 1965-től újból, bevezettem egy heti 2 órás laboratóriumi technikai jellegű előadást a másodéves fizikus hallgatók részére, hogy már a laboratóriumi gyakorlatok megkezdésekor tájékoztatást kapjanak a szükséges technikai alapismeretekről. Ezen egyetemi előadást eleinte magam, újabban egy részét munkatársaim, *Szabó József* tanársegéd (KLTE Kísérleti Fizikai Intézet) és az ATOMKI egyes tapasztalt kutatói, *Dr. Berecz István*, *Dr. Medveczky László*, *Dr. Sebestyén Béla* tartották. E munka egyes fejezeteit is ők írták, ahol az külön fel van tüntetve.

Végző hallgatóink és fiatal fizikusaink szíves figyelmébe ajánljuk ezt az anyagot. Munkatársaimmal együtt jelentős fáradozással és körültekintéssel állítottuk össze. Az a jószándék vezetett bennünket, hogy megkönnyítsük az első lépéseiket azon a pályán, amelyet hivatásuknak választottak.

Persze a megkönnyítés nem teszi nélkülözhetővé az önálló munkával való ve-rejtekés tapasztalatszerzést és nem foszt meg senkit az önállóan elért siker örömétől.

Debrecen, 1968. március

/Dr. Szalay Sándor/







## BEVEZETŐ ALAPISMERETEK

### Alapvető kísérleti - technikai forrásmunkák jegyzőke

A következőkben olyan forrásmunkákat sorolunk fel, amelyeket egyrészt ezen anyag összeállítására felhasználtunk, másrészt önálló kísérletező fizikus számára többé-kevésbé nélkülözhetetlenek, mert a laboratóriumi technika általános alapját vagy pedig a fizika egy fejezetének részletesebb technikáját adják. A kísérletező fizikus ezekben utmutatást találhat a feladatai kapcsán felmerülő nehézségek leküzdéséhez.

#### Alapvető könyvek

- H. J. J. Braddick*: Mechanical design of laboratory apparatus, Chapman and Hall Ltd., London, 1960.
- H. J. J. Braddick*: The physics of experimental method. Chapman and Hall Ltd., London, 1954.
- J. Strong*: Procedures in Experimental Physics, Prentice-Hall, Inc. New-York, 1949.
- E. v. Angerer*: Technische Kunstgriffe bei Physikalischen Untersuchungen, F. Vieweg Braunschweig, 1959.
- Handbook of Chemistry and Physics. Chemical Rubber Publish. Co. Cleveland, Ohio, USA.
- American Institute of Physics Handbook, McGraw-Hill Book Co. Inc. New-York.
- R. Lang*: Laboratory and workshop notes. Edward Arnold Co., London, 1950.
- J. Surugue*: Techniques générales du laboratoire de physique, Vol. I, II, III, Ed. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1950.

#### Speciális könyvek jegyzőke

- A. Guthrie and R. K. Wakerling*: Vacuum equipment and technique, McGraw-Hill Book Company, New-York 1949.
- S. Dushmann*: A vákuumtechnika tudományos alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1959.
- E. v. Angerer*: Wissenschaftliche Photographie, Akademische Verlagsgesellschaft, Geest und Porting KG., Leipzig, 1956.
- Laboránsok kézikönyve: Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.



- Schwaner K.*: Műanyagok. Mérnöki Továbbképző Int. Felsőokt. Jegyzetellátó, Budapest, 1965.
- Schwarz-Schlegel*: Fémragasztás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- Hornung A.*: Fémfelületek finommegmunkálása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- F. X. Eder*: Moderne Messmethoden der Physik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin, 1960.
- Barabás-Kohler*: Optikai műszerek, Műszaki Kiadó, Budapest, 1963.
- Bárány-Mitnyán*: Optomechanikai műszerek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
- G. Schandell*: Prüfungen und Messungen am Mikroskop, Verlag Technik, Berlin, 1952.
- Macskássy A.*: Klimaberendezések szerkezeti felépítése, Felsőokt. Jegyzetellátó Váll. Budapest, 1963.
- W. S. Spinks*: Vacuum technology, Chapman and Hall Ltd., London, 1963.
- A. L. Reimann*: Vacuum technique, Chapman and Hall Ltd., London, 1952.
- H. L. Eschbach*, Praktikum der Hochvakuumtechnik. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1962.
- J. Yarwood*: High vacuum technique, Chapman and Hall Ltd, London, 1956.
- W. Espe*: Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1959.
- G. Joos, E. Schopper*: Grundriss der Photographie und ihrer Anwendungen besonders in der Atomphysik. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. Frankfurt am Main, 1958.
- L. C. Martin and B. K. Johnson*: Practical microscopy, Blackie and Son Ltd. London, 1965.
- H. Schardin*: Die Schlierenverfahren und ihre Anwendungen, Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 20, 303, 1942.
- H. F. Grawe*: Elektrische Messung nichtelektrischer Größen, Akademische Verlagsgesellschaft, Geest und Porting K. G., Leipzig, 1965.
- Л. П. Крайзмер*: Устройства хранения дискретной информации Государственное энергетическое издательство Москва-Ленинград, 1961.
- Техника автоматизации. Государственное наукотехническое издательство. Москва, 1961.
- A. J. Meyerhoff*: Digital applications of magnetic devices, John Wiley and Sons, Inc. New-York, 1960.

## E l e m i   ó v a t o s s á g i   r e n d s z a b á l y o k a   l a b o r a t ó r i u m b a n

Mindenekelőtt a laboratóriumi veszély- és kárforrásokkal foglalkozunk, mert mielőtt egy hallgató, vagy kezdő kutató laboratóriumban dolgozni kezd, szükséges, hogy ezeket megismerje.

Tudatában kell lennünk annak, hogy a mindennapi élethez képest a laboratóriumi munkával bizonyos sajátos baleseti veszélyek és műszert vagy épületet veszélyeztető kárlehetőségek járnak együtt. Ha munkánkat hozzáértéssel, körültekintő gondossággal végezzük, akkor nincsen okunk ezektől félni. Gondatlanság, hozzá nem értés viszont veszélyeztetheti saját vagy munkatársaink egészségét, továbbá a laboratórium műszereit és épületét.

A laboratóriumban főleg a következő fontosabb veszélyforrásokkal kell szá-



molnunk:

- ellátó hálózati (gáz, víz, villany) veszélyek,
- vegyi anyagokkal kapcsolatos veszélyek,
- radioaktív anyagokkal kapcsolatos és sugárveszélyek.

### Ellátó hálózati (gáz, víz, villany) veszélyek

Minden korszerű laboratórium jelentős energia levételre alkalmas elektromos hálózattal, továbbá elég nagy öblü gázvezetékekkel és több munkahelyen (vegyi fülkék, kiöntők) vízcsapokkal és lefolyókkal van ellátva. A villamos hálózat ma már egy- ségesen többnyire 380/220 V, 50 ~ háromfázisú váltóáram. Egyes laboratóriumokban házi akkumulátor telep, stb. áll rendelkezésre.

A háromfázisú hálózat bármelyik két fázisa között 380 V (csucsban 540 V) feszültség van, egy fázis és a hálózati nullvezeték (földpont) között 220 V (csucsban 310 V) feszültség van.

A hálózatot egy háromfázisú csillagba kapcsolt transzformátor táplálja. A transzformátor csillagpontja, a nullvezeték (üzemi földelés) földelve van. Az üzemi földelés a vezetéseken légköri vagy üzemi hatások következtében keletkező sztatikus töltések levezetésére, szigetelési hibákból, vagy egyéb okokból eredő tartós potenciáleltolódások megakadályozására szolgál. Ezt műszerföldelésre vagy védőföldelésre felhasználni tilos.

Minthogy a vízvezetéki hálózat, központi fűtés és gázvezetéki csövek szintén érintkezésben vannak a földdel, ezért a kétpólusú konnektorok egyik pólusa ugyanilyen feszültségen van, mint ez a tárgyak. Emiatt különös veszélyt jelent, ha a másik pólus testünkkel érintkezésbe kerül, és ugyanakkor nem állunk jól szigetelő padlószőnyegen, vagy pedig másik kezünkkel vízcsapot, gázcsapot vagy központi fűtést érintünk.

Az elektromos ütés veszélye a legnagyobb, ha egyszerre két kézzel tevékenykedünk a feszültség alatt lévő vezeték között. Ilyenkor érintkezés esetén az elektromos áram egész testünkön keresztül megy és könnyen szívbénulást okozhat. Ez a veszély akkor is fennáll, ha egyik kezünkkel valamilyen földpotenciálra lévő testet (gázcsap, fűtőtest, vízcsap) fogunk meg. Hasonló a helyzet, ha rossz szigetelő padlón állunk, különösen ha a cipőnk is nedves. Szigetelő padlóként laboratóriumban a gumi vagy PVC, esetleg más műanyag padló alkalmazása a legbiztonságosabb. A kő-, beton- és a nedves fapadló nem jó szigetelő, ráadásul az utóbbi azzal a hátránnyal is rendelkezik, hogy a padlórések közé higany is becsoroghat. Az elektromos ütés veszélyét úgy kerülhetjük el legbiztosabban, ha a berendezéseket érintés előtt áramtalanítjuk (mindkét pólust ki kell kapcsolni). Elektronikus eszközök "belövése", hibakeresés és javítás esetén ez gyakran nem lehetséges. Ilyenkor a berendezéshez csak félkézzel szabad hozzáérni, de ebben az esetben gondoskodni kell arról, hogy lábunk alatt is szigetelő réteg legyen. Használjunk ilyenkor szigetelt nyelű szerszámokat és ha indokolt, húzzunk gumikesztyűt.

Hatósági előírás, hogy minden villamos üzemű készülék (erősáramú és gyengeáramú) üzemszerűen áramot nem vezető fémanyag szerkezeti részeit védőföldeléssel kell ellátni. Földelő vezeték csakis külön erre a célra szolgáló csavarhoz vagy hüvelyhez szabad csatlakoztatni.

Védőföld minden egyfázisú ipari és háromfázisú konnektorban található. Tilos védőföldelés céljaira a vízvezetéki csővezeték, gázvezeték, a központi fűtés



és a melegvizszolgáltatás csővezetékét, a hálózati nullvezetékét és az un. egyenáramú földvezetékét felhasználni.

Vigyázni kell arra, hogy provizórikusan szerelt elektromos berendezések felügyelet nélkül ne maradjanak. Ha ez nem valósítható meg, akkor igen gondosan át kell nézni azokat (szigetelések, biztosítékok, védőkapcsolók, stb.), mielőtt a berendezést magára hagyjuk. A felügyelet nélkül hagyott elektromos berendezések egyszerű áramkimaradás esetén is károkat okozhatnak. Pl. vákuumrendszerek mehetnek tönkre (olajbeömlés a vákuumba), vagy pl. motorok éghetnek le az újra bekapcsoláskor (fokozatkapcsolóval ellátott motorok esetén), stb. Igen helytelen, és egyben veszélyes az, ha kiegészítő biztosítékokat szakszerűtlenül dróttal hidalunk át. Csakis gyári olvadó szálu betétet szabad használni. Korszerű laboratórium kapcsolótáblájáról 10-50 kW vagy esetleg nagyobb teljesítményt is levehetünk. Szakszerűtlen kezelés vagy egyéb okok folytán létrejött rövidzárlat hatalmas lángivet, tűzveszélyt, égési sebet, műszerkárt, stb. okozhat.

A gáz- és vízhálózattal kapcsolatban általános szabály, hogy az elzárást távozáskor mindig a falon lévő csapoknál kell eszközölni, ilyenkor a nagyobb biztonság kedvéért a főcsapokat is le lehet zárni. (Gázvezető gumicső lerepedhet, vízvezető gumicsövet vizlökés lerughatja, vagy a vizlökés hatására a lefolyóba dugott gumicső kiugorhat). Vigyázni kell arra, hogy nyílt gázlángot felügyelet nélkül ne hagyjunk. Előfordulhat, hogy gázszerelés vagy egyéb okból kifolyólag a gázszolgáltatás rövid időre megszűnik, majd újra megindul. Az égve hagyott láng kialszik, majd a gáz újra megindításakor gázömlés támad. A vízzel való gondatlanságból főleg anyagi (épület beázási) károk keletkezhetnek és ezért ne hagyjunk cirkuláló vízű hűtéssel ellátott berendezést se felügyelet nélkül. Legnagyobb és sok esetben szinte jóvátehetetlen kárt a beázás leginkább a könyvtárakban okozhat. Könyvtár fölé nem célszerű vizes hálózattal ellátott laboratóriumot telepíteni.

Tegyük megrögzött szokásunkká, hogy a laboratóriumból való távozás előtt a gázt, vizet és villanyt kapcsoljuk ki.

#### Vegyí anyagokkal kapcsolatos veszélyek

A vegyi anyagokkal való bánásmód során a megfelelő elővigyázat elmulasztása tüzet, robbanást, mérgezést, személyekben vagy műszerekben, gyakran ruházatban roncsolást, marást és egyéb károkat okozhat.

A veszély elhárításának alapvető feltétele a gondosság, tisztaság. A vegyszeres üvegeket mindig jelöljük fel, akkor is, ha csak ideiglenesen tárolunk valamit bennük. A hamis címke nagy bajt okozhat és a jelölést ennek érdekében azonnal meg kell változtatni, ha mást teszünk az üvegbe. A jelölés történhet ragasztószalaggal, címkével, ideiglenesen szemöldökceruzával vagy véglegesen irógyémánttal. (Az irógyémánt egy ironformájú nyélbe foglalt kis tompa végű gyémántszilánkból áll, amellyel az üvegre könnyen írhatunk és az üveg a karcolás mentén nem reped el.)

Könnyen illanó, gyúlékony szerves anyagokat (éteres, benzines, alkoholos és különösen szénkénes üvegeket) nyitott láng, cigaretta, stb. közelében ne nyissunk ki. Szénkénes még több méterre lévő gázégőtől is fellobbanhat. Általában ezekkel az anyagokkal lehetőleg vegyi fülke alatt dolgozunk. Nagyobb mennyiségű benzolt, étert földelt fémtölcseren át szabad csak tölteni, mert elektrosztatikus feltöltődés szikrája fellobbanthatja üvegtölcser használata esetén.

Tömény kénsav higitásakor nagymennyiségű hő fejlődik úgy, hogy a keverék



hőmérséklete a víz forráspontját jóval meghaladhatja. Éppen ezért a kénsavat csorgatjuk állandó keverés közben vékony sugárban a lehetőleg hideg vízbe és nem fordítva.

A foszforpentoxidnak azt a tulajdonságát használjuk fel a kémiai- és fizikai laboratóriumokban egyaránt, hogy igen erősen nedvszívó. Éppen ezért a kiszáritani kívánt térrel összekapcsolt foszforpentoxidos szárító csövet gyorsan kell megtölteni, mert különben a töltés alatt is igen sok nedvességet szív magába. Ha foszforpentoxid kerül vízzel érintkezésbe, nagyon sok hő fejlődik, s ezért a foszforpentoxiddal töltött szárítócsövet nem szabad vízzel kimosni. Célszerűbb, ha először kirázzuk, kikaparjuk és a nyitott szárítócsövet nedves levegőn állni hagyjuk, ahol néhány óra alatt annyi vizet szív be, hogy a foszforpentoxid elfolyósodik és kicsurgatható.

A higannyal való bánásmód is figyelmet kíván, mert a higany sejtméreg és belégzés útján felhalmozódhatik a szervezetben. Higannyal csak üveg vagy műanyagtálca felett dolgozunk, mert a higany a padló legkisebb réseibe is szétgurulhat és ott párologhat. Ha a higanyt nem sikerült teljes egészében összeszedni, minden gazdasági szempontot félretéve a helyiség padlózatát fel kell bontani (krónikus higanymérgezés veszélye).

Nagyobb vákuum-exszikkátorok és vákuum-párologtatásnál használt üvegburák a légnyomás hatására tartósabb használat közben is robbanásszerűen összeroppanhatnak, mert az üvegben rejlő belső feszültség vagy fáradás, esetleg egy jelentéktelen karcolás meggyengítette azokat. Az ilyen berendezéseket leszívás előtt borítsuk le sűrűszemű erős dróthálóból vagy plexiből készített burával. Ideiglenesen beburkolhatjuk erős ruhával és használjunk védőszemüveget. Vákuum lepároló berendezést vegyi fülke védelme alatt és védőszemüveggel használjunk.

A lugoknak laboratóriumban való alkalmazása esetén a legnagyobb veszélyt a lugnak a szembe való fröccsenése jelenti, ezért védőszemüveget kell használnunk. Soha ne tartsunk lugot ivásra is használható pohárban vagy edényben vagy feltűnő címke nélkül (nyelőcső roncsolódás veszélye).

Igen nagy figyelmet érdemel a krómkénsavval való bánásmód; ez ugyanis rendkívül erősen maró, roncsoló hatású folyadék (lásd később), ezért a krómkénsavas üvegeket külön üvegtálban szabad csak tartani.

Olyan munkákat, melyek során mérgező gőzök és gázok kerülhetnek a laboratóriumi helyiség légkörébe, csak jó huzatu vegyi fülkében szabad végezni. (Szellőztetés biztosítása és ellenőrzése cigarettafüsttel.)

Párolgó maró vegyületeket (sósav, salétromsav, jód, ammónia, stb.) továbbá kénhidrogén vizet lehetőleg csak vegyi fülke alatt tartsunk. Ezek gőzének kitett helyiségben kényesebb műszerek (analitikai mérleg, mikroszkóp, spektrográf, elektronika, relékontaktusok, stb.) gyorsan korróziót szenvednek, kontaktusok szulfidosodás miatt tönkre mennek, megbízhatatlanná válnak.

Sok balesetet okozott már a fluorsav, mert nincs olyan átható, fojtó szaga, mint a sósavnak. Sulyos enzim mérge és mind a bőrön át, mind belégzés útján gyorsan bediffundálva szövetelhalást okoz, ami csak több órás késéssel, de feltartóztatlanul jelentkezik. Csak gumikesztyűben és vegyi fülkében dolgozunk vele, s a belégzést feltétlenül kerüljük el. Üvegtárgyakat, optikát meghomályosít.

A vegyszerek között igen sok mérgező hatása van. Olykor cián tartalmu vegyszerekkel is dolgozunk pl. galvanikus aranyozásnál, ezüstözésnél. Ciánkálit tartalmazó üvegben már a levegő  $\text{CO}_2$ -jének és nedvességének hatására is szabadulhat fel ciánhidrogén gáz, ami belégzésre azonnali halált okozhat. Ilyen üveget csak léghuzatos



helyen vagy vegyi fülke alatt nyissunk ki és feltétlenül kerüljük el a belégzést. Ha cianidos fürdőben elektrolizálunk és a fémtárgyat az oxidtól először savval marattuk le, akkor a savnyomokat először gondosan öblítsük le vízzel, mielőtt a fürdőbe tesszük, mert ciánhidrogén fejlődik.

Vegyszerek kezelésénél a feltétlenül szükséges gondosság elmulasztása a veszélyen kívül rengeteg bosszúságot, megbizhatatlan eredményeket okozhat a laboratóriumi munkában (vegyszerek elkeveredése, elszennyeződése). (Üvegek tisztítását lásd később.)

Fontos megjegyezni, hogy a p.a. (pro analysi) tisztaságu anyagokat az eredeti márkás edényben tartsuk. Csak üveg vagy műanyag kanállal, spatulával nyuljunk bele; ha kivettünk belőle, a maradékot visszatenni nem célszerű (elszennyeződés veszélye). A mérésekhez a vegyszereket külön óraüvegre, mérőedénykébe vagy abba az edénybe mérjük be, amelyikben oldani akarjuk.

### Radioaktív laboratóriumok veszélyei

A radioaktív laboratóriumban előforduló veszélyek különleges problémát képeznek. Ezekkel igen bő szakirodalom foglalkozik. Itt csak a legелеmibb problémákra szorítkozhatunk:

- a.) áthatoló radioaktív sugárzás hatása emberre és műszerre,
- b.) a szervezetbe bejutott radioaktív fertőzés,
- c.) a laboratórium, mérőműszerek radioaktív szennyeződése.

A külső áthatoló sugárzás ellen a radioaktív preparátumok távoltartásával és védővért együttes alkalmazásával lehet védekezni.

A védővért alkalmazása különösen a nagy áthatoló képességű gamma- és röntgensugárzás, valamint neutronsugárzás esetén fontos. A védő vértet lehetőleg a forrás közelében kell elhelyezni, az ilyen megoldás gazdaságosabb. A gamma forrásokat ólomkonténerben kell tartani, melynek méreteit sugárvédelmi számítások segítségével lehet meghatározni. Ólom helyett - különösen gyorsítóberendezéseknél - gyakran alkalmaznak betont vagy vassal neheztett betont (a vas vasércel való helyettesítésével olcsóbb vért készíthető). Ez anyagokból megfelelő méretű formatéglákat készítenek és védőfalat emelnek. Jegyezzük meg a következő ökölszabályt: néhány MeV-es gamma-sugárzás intenzitását 5 cm vastag ólom kb. 1 nagyságrenddel, 10 cm 2 nagyságrenddel csökkenti. Egy Curie nagyságrendű, gamma-sugárzó radioaktív izotóp 1 m távolságból óránként 1 r nagyságrendű sugárdózist ad. Adott forrás sugárzásának intenzitása a távolság négyzetével csökken. Egy ember heti rendszeresen megengedhető sugárdózisa 0,1 r/hét. Az alfa-sugarak a bőrön nem hatolnak át, legfeljebb cca. 0,1 mm utat tehetnek meg a bőrben. Annál nagyobb veszélyt jelenthetnek (légzőszervi megbetegedést, rákos elváltozást), ha bekerülnek a szervezetbe. A béta-sugarak uthossza már nagyobb a bőrben (1-9 mm), s miután teljes energiájukat ezen az uton adják le, különösen a bőrre veszélyesek. 3-4 mm vastag plexilap és hosszú csipesz alkalmazása már jelentős védelmet nyújt a béta-sugárzás ellen. Gyors neutronok elleni védelemre gyakrabban a víz használatos, mint neutron lassító közeg; jól alkalmazható a beton is aránylag nagy víztartalma (cca. 30 %) miatt. Mintegy 0,5 - 1 m vastagság nagyságrend szükséges neutronok elleni védelemnél.

Ha egy radioaktív preparátummal olyan munkálatot kell végezni, hogy azt ki kell venni a konténerből vagy a védővért mögül, akkor a műveletet inaktív mintán e-



lőre jól begyakorlott mozdulatokkal, hosszú száru szerszámokkal, a lehető legrövidebb idő alatt végezzük el. (Előre számítsuk ki a várható dózist!)

Minthogy adott forrás sugárzásának intenzitása a távolság négyzetével csökken, a távoltagezéssel való védekezési forma igen jelentős preparatív munkáknál. A beta-sugarak hatótávolsága levegőben néhány méter; ilyen forrásokkal való munkálkodás esetén plexi védőernyőt, távpipettát, hosszú száru csipeszt kell használni (legbiztonságosabb a negatív csipesz; ez nyomásra nyit, elengedve zár).

A radioaktív anyagok szervezetbe való bekerülése képezi a másik csoportba tartozó veszélyt. Ilyen veszély csak nyitott preparátumnál lép fel. A radioaktív laborokban különleges munka és baleseti szabályzat van, amit mindenkinek szigorúan be kell tartani. Ilyen helyen enni, inni, dohányozni, szájjal pipettázni, orrhoz, szemhez, ajakhoz nyulni, kezét fogni tilos. Külön köpenyt, esetleg műtő gumicipőt, dózismérőt (ionizációs és filmdozimétert), gumikesztyűt viselni kötelező. Ezeket a felszereléseket a laboratóriumi helyiségből ellenőrizetlenül kivinni nem szabad. Pipettázáshoz távpipettát (ólomvérttel együtt) vagy kis aktivitásnál gumilabdával vagy szemcseppentő gumival felszerelt pipettát szabad használni. Itt kell megemlíteni, hogy pipettázásnál nemcsak a beszívásnál, hanem a kifújásnál is figyelni kell; a pipetta végét az edény aljára vagy oldalára kell helyezni, nehogy buborék képződjék annak végén és szétpattanva parányi cseppeket szórjon a levegőbe.

Igen fontos a radioaktív laborokban az általános gondosság és tisztaság. Az ilyen laboratóriumokat fel kell szerelni műszeres radioaktivitás mérőkkel is, mert a radioaktív szennyeződés általában láthatatlan; tökéletesen tisztának látszó üvegedényzet is lehet erősen szennyezett. Az aktív edényeket citromsavval vagy sósavval kell tisztítani.

Külön probléma a radioaktív hulladék tárolása és a szennyviz kezelése. A radioaktív hulladékokat külön, gondosan össze kell gyűjteni megőrzés, majd izotóptemetőbe való elszállítás céljára. Kis súlyú hulladékokat (óraüveg, vatta, szűrőpapír, stb.) a porzást elkerülve nylon zacskóba helyezhetünk és azt leforraszthatjuk a szennyeződés természetét és mennyiségét tartalmazó cédulával együtt. Nagyobb tárgyakat (elavult, törött edényzet, stb.) jól zárható bádoghordóba gyűjthetjük és olvasztott bitumennel leönthetjük. Általános eljárás, hogy a hulladékot nylon zacskóban vashordóba teszik, bitumennel öntik le, majd ezeket a hordókat izotóptemetőbe viszik.

A radioaktív anyagok kezelése nagy gyakorlatot, hozzáértést kíván, így az ilyen problémák megoldásával csak speciális tanfolyamot végzett, felelősségérzettel rendelkező, pedáns kutató és jól képzett laboráns bízható meg. Az érkező radioaktív anyagok kezelésével, kiadásával csak a kijelölt felelős kutató foglalkozhat. Az ilyen laboratóriumokban igen fontos a levegőcsere. Kisebb laboratóriumokban a levegőcserét a vegyifülkén keresztül oldják meg. A követelmény: félig lehuzva a fülke ajtaját a levegő sebessége 50-60 cm/s legyen. Nagy laboratóriumokban vagy ott, ahol nagy aktivitású anyagokkal dolgoznak, az egész mennyezetet elszívóberendezésnek alakítják át. Ha egy laboratóriumban kétféle szívás is van, vigyázni kell, hogy visszaszívás ne jöjjön létre. Gondoskodni kell arról, hogy a fülke szívása legyen az erősebb és annak működése nélkül az általános elszívót ne lehessen bekapcsolni.

Külön problémát jelent a radioaktív laboratóriumi helyiségek tervezése és kivitelezése. E kérdéssel itt nem foglalkozunk.



## L a b o r a t ó r i u m i j e g y z ő k ö n y v é s b e s z á m o l ó

Ha laboratóriumban dolgozunk, akkor munkánkról jegyzőkönyvet vezetünk. A jegyzőkönyvet a kutató elsősorban saját használatára vezeti, de annak tisztán, rendszeresen vezetettnek, áttekinthetőnek kell lennie. A jegyzőkönyv többnyire az alkalmazó intézet tulajdonát képezi. A jegyzőkönyv vezetésére merev, egyöntetű formai előírást nem lehet adni, mert az nagymértékben függ a témától is. A jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy a kutató felettese is ellenőrizhesse munkáját, annak előrehaladását. Szükséges az, hogy utólag a régen gyűjtött vagy mért adatokat rendben meg tudjuk találni. A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell a mérőberendezés adatait, kapcsolásának vázlatát (legalább blokk-sémáját), a hitelesítési adatokat, stb. A jegyzőkönyv lehetőleg kemény fedelű félvászon kötésű legyen, melynek fedőlapján a téma címe, a témafelelős, téma kiadás időpontja, stb. szerepeljenek. A jegyzőkönyvnek nem kitéphető (lehetőleg kockás) beszámozott lapokból kell állnia. A jegyzőkönyvben célszerű margót hagyni, amire csak kiértékelést, valamint a kiemelésre szánt kulcsjeleket vagy pár szavas szöveget írunk. A méréssel kapcsolatos ábrákat célszerű milliméter papírra rajzolva a jegyzőkönyvbe beragasztani; ha túl sok kell, akkor külön tokban, dossziében lehet tartani. A jegyzőkönyvben egyes részeket beragasztott kiálló kartonnyelvvvel ki lehet jelölni (pl. irodalom).

A "Laboratóriumi beszámoló" ("laboratory report") egy tömör összefoglaló, a munka egy lezáródott szakaszáról, a felettes vagy a kollektiva (kutatócsoport tagjai, csoportértelkező) számára. A felettes (osztályvezető, igazgató) többnyire nagyon elfoglalt ember, aki sok munkatárs munkáját irányítja, de sok minden egyébgel is kénytelen foglalkozni. A laboratóriumi beszámolót tehát úgy kell elkészíteni, hogy az tömör, világos, gyorsan, jól áttekinthető, gépírással legyen, ne vesszen el a részletekben. Az ábrák alatti szöveg az ábrán látható információ összes magyarázatát, kulcsát adja meg. A laboratóriumi beszámolóval kapcsolatban sem lehet egységes, sablonos előírást adni, legfeljebb egy laboratóriumon belül a vezető követelheti meg bizonyos formát. Mégis célszerű, ha a beszámoló a következő részekre oszlik:

- I. Feladat, célkitűzés. (Mi volt a vizsgálat célja?)
- II. A megoldás, vizsgálat módja. (A mérőberendezés leírása és a mérési módszer rövid ismertetése.)
- III. A mérési, vizsgálati eredmények ismertetése. (Grafikon, táblázat.)
- IV. Az eredmények kiértékelése (logikai feldolgozás). Ebben a pontban történhet javaslat a további munkára, ipari, gazdasági felhasználásra, amiben a vezetőnek kell döntenie.

A laboratóriumi beszámolót vagy a vezető vagy a kollektiva előtt szokás ismertetni, esetleg megvitatni. A laboratóriumi beszámoló sokkal tömörebb, mint a jegyzőkönyv, annak mintegy kondenzált kivonata, s csak az értékelhető és a továbbiakban fontos adatokat tartalmazza. Pár hónap, félév munkája egy vaskos jegyzőkönyv, gyakran csak pár oldalas beszámolóba sűrithető.

A beszámoló alapján lehet tudományos kutatásnál a tudományos közleményt, ipari kutatásnál esetleg a szabadalmi bejelentést, eljárás leírást, stb. elkészíteni.

Tudományos munkánk eredménye gyakorlatilag kárba veszik, elkallódik, feledésbe merül, ha valamilyen nyomtatott formában meg nem jelenik. A nemzetközi tudományos folyóiratok révén szerez róla tudomást a hasonló területen dolgozó kutatók köre. A



nemzetközi igényű folyóiratok a nagyszámban beérkező kéziratokat hozzáértő lektorokkal bíráltatják és ha közlésre elfogadják, akkor ez már bizonyos elismerést, minősítést jelent, legalábbis annyit, hogy a dolgozat a nemzetközi színvonalat elérte és eredeti. A közlés másik módja, szélesebb körű szakmai konferencián való előadás, az írásbeli közlést nem teszi feleslegessé. Természetesen a másik végletet is kerülnünk kell. Sekélyes, nem sok újat mondó dolgozatok nagy száma még senkit sem tesz kiemelkedő kutatóvá. Valaki tudományos munkásságának értékét nem a dolgozatok nagy száma, hanem a felismerések újszerű volta, a további fejlődést elősegítő jelentősége alapján lehet megítélni és bizonyos mértékig ez tükröződik abban a hatásban is, amit egy dolgozat a szakirodalomban kivált. Törekedjünk rövidsége, tömörsége, világos érthetősége és ne vesszünk el a részletekben. Kisebb jelentőségű, a nemzetközi érdeklődés szintjét el nem érő eredményeket hazai szaklapokban, az intézmény házi kiadású közleményeiben tehetünk közzé.

## MÉRŐBERENDEZÉS TERVEZÉSE

### Gyakorlati szempontok mérőberendezés tervezésénél

A műszaki és tudományos problémák megoldása során az elvi és elméleti jellegű szempontok mellett nagyon fontos, hogy a mérőberendezést mindenkor a legcélszerűbben, a leggazdaságosabban tervezzük vagy válasszuk meg. Többféle szempontot kell itt mérlegelnünk:

*A mérési feladat jellege: lehet állandó vagy átmeneti*

a.) Állandó mérésekhez, az ugynevezett rutinmérésekhez, amelyek éveken át rendszeresen folynak, érdemes egy drága, pl. automatikus vagy félautomatikus mérőberendezést készen beszerezni (pl. spektrométer). Az ilyen mérőberendezések kezelésére tömeges, rendszeres mérések esetén célszerű segédmunkaerőt (laboránst) betanítani, aki kellő irányítás mellett elvégzi a rutin feladatokat.

b.) Ideiglenes ("ad hoc"), alkalmi feladat megoldásához nem célszerű bonyolult, drága műszert szerkeszteni vagy venni, mivel itt pillanatnyilag szükséges vizsgálatokról van szó, és utána a mérést véglegesen befejezettnek tekintjük. A házi készítésű, ideiglenes kivitelben összeállított műszer, vagy más intézménytől való kölcsönzés jelenti a leggyorsabb és leggazdaságosabb megoldást.

*A mérőberendezés előteremtése: lehet gyári, kisipari vagy saját, egyedi készítésű*

a.) Gyakran olyan jellegű problémákkal vagy részproblémákkal állunk szemben, melynek megoldását egészben, vagy részben nagy sorozatban gyártott, készen kapható mérőberendezések teszik lehetővé. Az ilyen mérőberendezések (műszerek) általában jól kipróbáltak, többnyire megbízhatóak (ez a legnagyobb előnyük) és méltányos áron kaphatók. Házi kifejlesztésük általában indokolatlan. Ilyen mérőberendezések pl. a mikroszkópok, polariméterek, katódsugároszcillográfok, csővoltmérők, stb.

Általában nem érdemes olyan műszert egyedi példányban elkészíteni, amit sorozatban gyártanak. Az egyedi elkészítés sokkal drágább és csak azért látszik egyes esetekben olcsóbbnak, mert nehezebben áttekinthető rovatokról történik a költségek ki-



fizetése. Egy fizikus évi foglalkoztatása kutatóintézetekben jelenleg legalább 200.000 Ft-ba kerül. Ha egy évet eltölt egy kb. 60.000 Ft-ért beszerezhető műszer kifejlesztésével egyetlen példány kedvéért, akkor az nyilván nagyon drága műszer lesz, még akkor is, ha jól sikerül.

b.) Gyakran beszerezhető kis sorozatban gyártott vagy kisipari mérőberendezések is. Vannak olyan speciális feladatok, melyekhez nagy sorozatban nem érdemes műszert gyártani. A kis sorozatban vagy kisiparilag előállított műszerek általában drágák és nem mindig megbízhatóak. Itt már érdemes és kell is mérlegelni, hogy készen szerezzük-e be a mérőberendezést vagy azt magunk tervezzük és kivitelezzük?

c.) Abban az esetben, ha sem nagy, sem kis sorozatban gyártott mérőberendezés nem áll rendelkezésünkre, a megoldást egyértelműen a mérőberendezés vagy egy részének egyedi elkészítése adja. Itt nagy szerepe van a fizikus tapasztalatának, gyakorlatosságának. Ugyanez a helyzet akkor, ha egy műszer csak nagyon hosszú szállítási határidővel szerezhető be. Ésszerűbb lehet egy egyszerű, ad hoc saját konstrukciót sürgősen házilag elkészíteni, mint egy sürgős kutatási programot egy-két évre félre tenni, amíg a várt műszer megérkezik. A tudomány mai dinamikus haladása mellett egy-két év alatt a téma is elavulhat és a gazdaságosság szempontjánál az is felmerül, hogy a már meglévő drága berendezések hosszabb ideig kihasználhatatlanul hevernek, mert valami segédberendezésre még várni kell.

## Műszertervezés elvi mechanikai alapjai

Vizsgáljuk meg a házi műszertervezés mechanikai szempontjait. Ezekkel a fizikusnak tisztában kell lennie, mert rossz terv esetén rendkívül drága, és igen gyakran elvileg (és persze gyakorlatilag is) rossz mérőberendezés kerülhet ki a műhelyekből a fizikus rossz elgondolásának hibájából. A költségek egy ésszerűbb megoldás költségeit sokszorososan felülmulhatják.

A fizikai műszerek elvi mechanikai problémáival először 1876-ban *J.C. Maxwell* foglalkozott, aki akkor a Cambridge-i Cavendish laboratórium igazgatója volt. Napi munkája folyamán látta a műszerszerkesztés problémáit és mélyenlátó, analitikus elméjével felderítette a szerkesztés elvi mechanikai szempontjait. A következőkben *H.J.J. Braddick*, az irodalomban idézett könyvei nyomán ezekkel foglalkozunk.

A mechanika szempontjából a műszereken egymáshoz képest kényszermozgást végző szilárd testek találhatók (pl. tolómérő, mikrométer, komparátor, goniometer, teodolit, stb.). A kényszermozgás biztosítása igen nehéz, precíziós feladat; különösen nehéz akkor, ha több kényszert kötünk ki, mint amennyire szükség van. Mindjárt egy egyszerű példán mutatjuk meg, hogy minden esetben *van egy szükséges minimális számú kényszer*. Vegyük a négylábu asztalt. Három láb, bármilyen pontatlan is a lábak hossza, biztosan áll a még nem teljesen sík padlón is; egy negyedik láb vagy nem éri a padlót, és ekkor az asztal billegni fog, vagy csak az asztal deformációja után lesz stabil érintkezés a láb és a padló között. A deformáció- és billenésmentes beállítást négy láb esetén is meg lehet valósítani, de ehhez nagy pontosság kell. Persze ebben az esetben sem lehet az elmozdított asztal előbbi helyzetét újra pontosan reprodukálni. A billenésmentes felállítás érdekében szorító erőket alkalmazhatunk, de ez ismét az asztal deformációjához fog vezetni. Korszerű labor állványokat ma már csak három pontos felfekvésre terveznek.



Pontosan tisztáznunk kell a mérőberendezések tervezésének elvi szempontjait. (Itt nemcsak mechanikai műszerekről van szó, hiszen sokszor optikai, elektromos problémák nem választhatók el a mechanikai jellegű problémáktól.)

Az egymáson mozgó alkatrészek kifogástalan működésének többféle elvi feltétele van:

a.) *Kinematikai vagy mozgástani feltétel* (gyakran geometriai feltételnek is nevezik). Ez esetben még nem vesszük figyelembe a hatóerőket. Tisztán kell látnunk az egymáshoz rögzítés és egymáson végzett kényszermozgás biztosításának elvi feltételeit és e szempontból helyesen kell terveznünk.

b.) *Sztatikai (szilárdságtani, terhelési) feltétel*. A készülék minden része legyen elég erős ahhoz, hogy az erők hatására fellépő deformáció ne befolyásolja a mérőberendezés mérési pontosságát. A sztatikai tervezés általában már nem fizikusi, hanem mérnöki feladat.

c.) *Dinamikai feltétel*. A mérőberendezés használata közben fellépő gyorsulások miatt deformációknak és vibrációknak nem szabad fellépni (pl. forgómozgásnál centrifugális erő). Forgó részekenél a nehézségi erő forgatónyomatéka változhat, ha a súlypont nem esik a forgástengelybe, vagy ha a tengely nem pontosan függőleges.

### Kinematikai tervezés

A Descartes-koordinátarendszerben egy geometriai pontot három koordinátával egyértelműen lehet jellemezni. Egy mozgó fizikai pontnak a helykoordinátákon kívül még két adata van: a tömege és az időpont. Így a pont helyzetét  $P = P(x, y, z, t)$  alakban kell megadni. A mozgó pont  $v$  sebességvektora  $v_x, v_y, v_z$  sebesség komponensekre bontható és a mozgó pont kinetikus energiáját a következő alakban írhatjuk fel:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \quad /1/$$

Definíció szerint a szabadsági fokok számát a kinetikus energia kifejezésében fellépő független tagok száma adja, így egyetlen szabad pont szabadsági fokainak száma három. Két, egymástól független pont szabadsági fokainak száma összesen hat. Ha ezt a két független pontot összekapcsoljuk, azaz két pontból álló merev testet hozunk létre, a rendszer szabadsági fokainak száma öt lesz. Ilyen esetben ugyanis a két pontra egyenként felírt  $E_{kin}$  kifejezés mellett fel lehet írni a két pont távolságát kifejező formulát is. A két pont távolságát az

$$S_{21} = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2]^{1/2} \quad /2/$$

kifejezés adja, ha  $(x_1, y_1, z_1)$  és  $(x_2, y_2, z_2)$  jelenti a két pont koordinátáit. Ezen egyenlet segítségével egy ismeretlen kiküszöbölhető. De a /2/ kifejezés egy kényszerűt jelent, mert a két rögzített pontot összekötő egyenes mentén (tehát egy irányban) mozgás nem jöhet létre. Ez a szabadsági fokok számának eggyel való csökkentését eredményezi, tehát a rendszer szabadsági fokainak száma  $6 - 1 = 5$ . Három rögzített pontból álló rendszer szabadsági fokainak számát a következőképpen lehet meghatározni. A két pontból álló rendszerhez vegyük hozzá a harmadik pontot. Ez, mint független pont, három szabadsági fokot "hoz" a rendszerhez. Miután ezt rögzítettük, a másik két ponthoz



tartozó  $S_{s1}$ , illetve  $S_{s2}$  távolság két kényszert jelent, ami két szabadsági fokot köt le. Ezek szerint a három pontból álló rendszer szabadság fokainak száma  $5 + 3 - 2 = 6$ . Könnyen belátható, hogy bármilyen nagy  $n$  számú, egymáshoz rögzített pont (tehát bármely merev test) esetén a szabadsági fokok száma 6, mert minden pont bevisz a rendszerbe három további szabadsági fokot, de a távolsági kötöttségek (kényszerek) miatt ez le is vonódik. A kényszerfokot kezelhetjük úgy, mint negatív előjelű szabadsági fokot.

Bármely merev test szabad mozgása helyettesíthető súlypontjának translációs mozgásával (amikor is a súlypontot szabad pontnak tekintjük), továbbá három, a súlyponton átmenő, egymásra merőleges tengely körüli forgó mozgással. A merev test súlypontja a fenti koordináta rendszerben elemi egyenesvonalú mozgást végezhet az  $x$ ,  $y$ ,  $z$  irányokban ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ) és e három tengely körül el is fordulhat ( $d\alpha$ ,  $d\beta$ ,  $d\gamma$ ). Így bármely merev test tetszőleges mozgása felbontható hat szabadsági fok által megengedett elemi mozgások összegére. A kinetikai energia kifejezésében a hat szabadsági foknak megfelelően hat, egymástól független tag lép fel:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} m \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} m \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} K_x \left( \frac{d\alpha}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} K_y \left( \frac{d\beta}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} K_z \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^2 \quad /3/$$

Két merev test tökéletes egymáshoz rögzítéséhez csak három pontot kell és szabad rögzíteni, mert három egymáshoz rögzített (és nem egy egyenesbe eső) pont hat szabadsági fokot köt meg ( $9 - 3 = 6$ ).

Kettő kevés, négy sok; az utóbbi esetben bizonytalan, reprodukálhatatlan helyzet lép fel; erő alkalmazása esetén deformáció, torzulás, feszülés jön létre vagy igen nagyok a követelmények a kivitelezési pontossággal szemben. A rendszer ilyenkor "tuldefiniált".

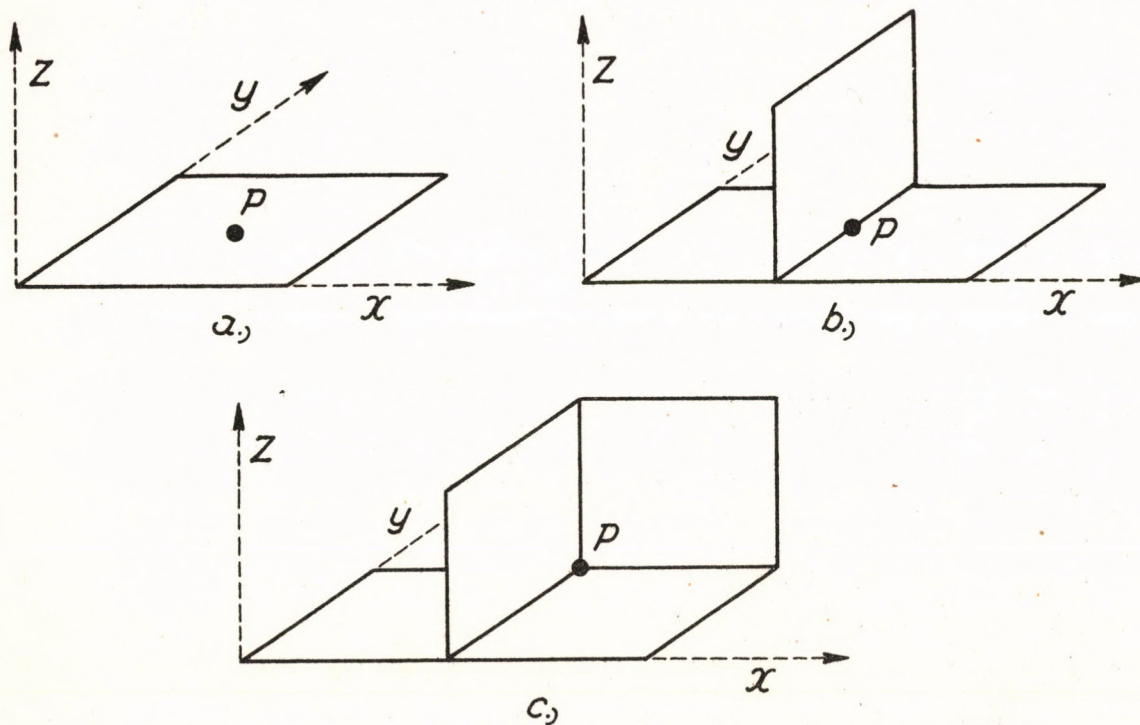
### Kényszerek alkalmazása

Vizsgáljuk meg részletesen, milyen szükséges és elegendő feltételeket kell kielégíteni ahhoz, hogy két merev test egymáshoz képest egyértelműen rögzítve legyen. Ezt a végeredményben összetett problémát - hiszen hat kényszer fokról van szó - bontsuk fel egyszerű esetekre.

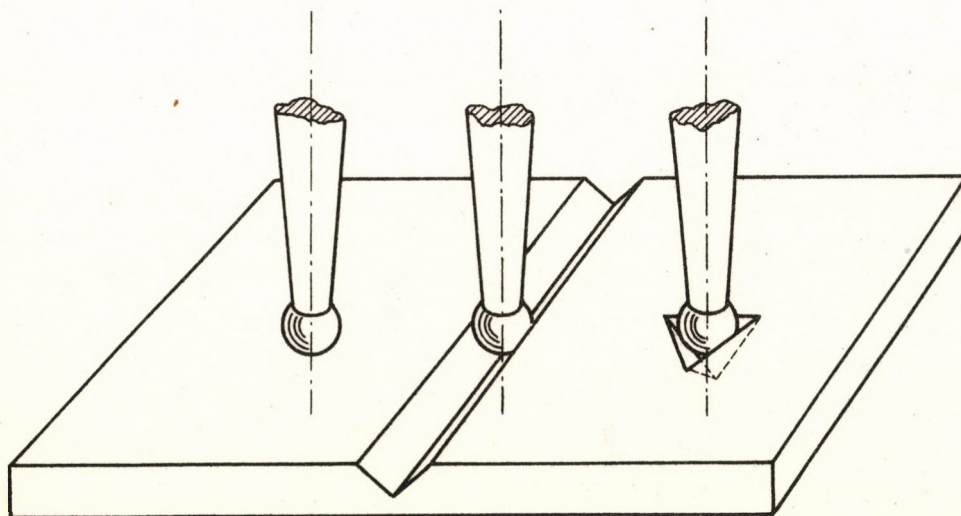
Először vizsgáljuk meg az egy síkban mozgó pont problémáját. Az  $(x, y)$  síkban elhelyezett pont csak az  $x$  és  $y$  irányokban végezhet translációs (csuszó) mozgást. A pont  $z$  irányú mozgását az alkalmazott kényszer, azaz a sík akadályozza meg (l. a. ábra). Ha egy ponton két kényszerfokot akarunk alkalmazni - azaz egy síkban csak egy irányú, pl.  $y$  irányú mozgást engedünk meg - akkor két egymásra merőleges síkkal korlátozzuk a pont mozgását (l. b. ábra). Ha egy ponton három kényszerfokot akarunk megkötni, azaz a pont lineáris mozgását teljesen meg akarjuk szüntetni, akkor elvben három, egymásra merőleges sík által alkotott triéder (kocka üres sarka) kell, amelyben egy pont helyzete egyértelműen meghatározott (l. c. ábra).

A pontot technikailag nem célszerű tüheggel helyettesíteni, mert egy reális mérőberendezésnél jelentékeny erők lépnek fel és tühegyen emiatt igen nagy nyomás és deformáció lépne fel. Jobb technikai megoldás acél csapágygolyókat és köszörült acél síkfelületeket alkalmazni, amelyeken a golyó csuszhat. A golyót a másik szilárd testre (pl. műszerláb) lágyforrasztással vagy epoxi-műgyanta kittel (Araldit, Epokitt) erősíthetjük fel.



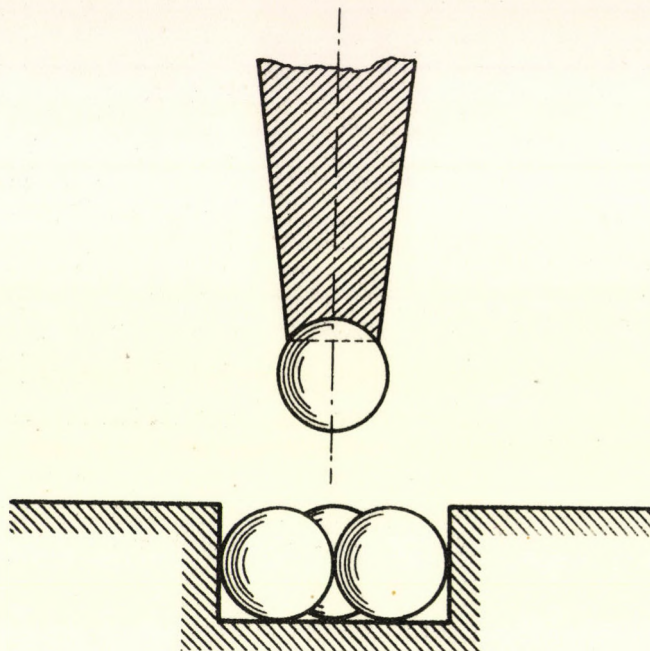


1. ábra. Síkban translációs mozgást végző pont problémája egy (a.), két (b.), illetve három (c.) kényszer alkalmazása esetén.



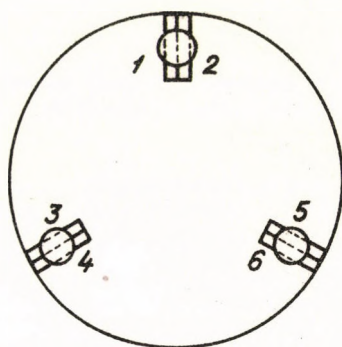
2. ábra. Egy, kettő, illetve három kényszerfok alkalmazása csapágygolyó - mint mozgó pont - translációs mozgásakor.



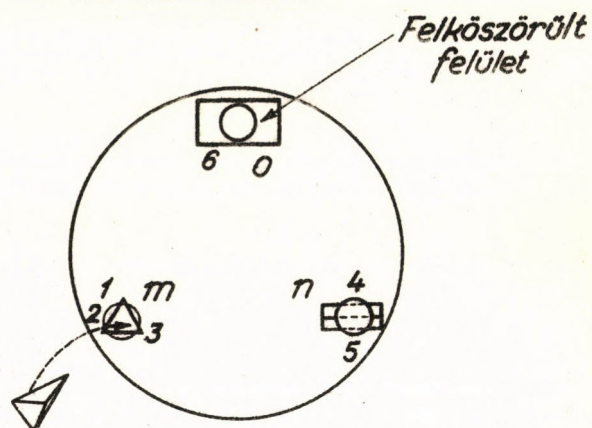


3. ábra. Három kényszerfokot reprezentáló elrendezés transzlációs mozgás megszüntetésére.

A 2. ábra ilyen technikai megoldást mutat. A triéder alakú mélyedést sárgaréz, bronz lemezbe megfelelő alakú szerszámmal be lehet ugyan különösen melegen sajtolni, de egyszerűbb megoldás is van, amit acéllemezen is alkalmazhatunk. A triéder célszerűen helyettesíthető három egymást érintő csapágygolyóval, amelyeket az acéllemezbe furt lyukba epokittel beerősítünk (3. ábra). A rájuk helyezett negyedik csapágygolyó helyzete egyértelműen definiált és nem tuldefiniált.



4. ábra. Elrendezés két szilárd test egymáshoz való rögzítésére. Az egyes hornyokban látható csapágygolyók 2-2 kényszerfokot jelentenek; az elrendezés  $3 \times 2 = 6$  szabadsági fok megkötését biztosítja. (A számok a hat kényszerfok helyét jelzik.)

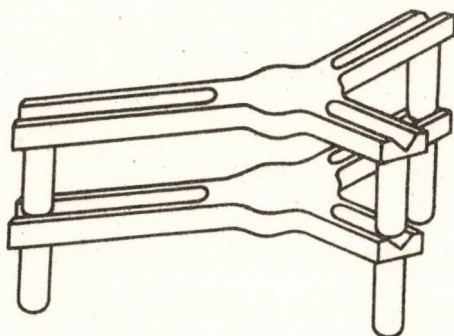


5. ábra. Elrendezés két szilárd test egymáshoz való rögzítésére. Az "m" pontnál 3, az "n" pontnál 2, az "0" pontnál 1 szabadsági fokot megkötő rendszer a 4. ábrához hasonlóan a szükséges és elegendő 6 kényszerfokot biztosítja.



Miután megvizsgáltuk egy pont síkban való rögzítésének különféle eseteit, térjünk vissza eredeti problémánkra. Hogyan oldhatnánk meg két szilárd test egymáson való rögzítését kinematikailag jól átgondoltan? Az egyik lehetséges megoldás, hogy az egyik szilárd testre – melyet az egyszerűség kedvéért válasszunk kör alakú síklemeznek – sugárirányban, egymástól  $120^\circ$ -ra három, a már említett vályu alakú hornyot marunk (4. ábra). A másik szilárd testet, mely három csapágygolyóban végződő lábon áll, helyezzük a három horonyba. Miután egy horony a síkban kétirányú mozgást szüntet meg (ti. két kényszert jelent), a három horony hat kényszert jelent, azaz pontosan annyit, amennyi a két testnek egymáshoz való egyértelmű rögzítéséhez szükséges és elegendő. Az elrendezés bármikor újból reprodukálható, nem tuldefiniált és a kopás első rendben nem okoz hibát. Igen nagy előnyt jelent, hogy a kevésbé pontos kivitelezés nem jelent az elrendezésben nagy pontatlanságot. A kinematikai elvek helyes alkalmazásával szerzett megoldások előnyeit a gyakorlatban igen sokszor hasznosítani lehet. Ha pl. egy tükrös galvanométer állványt a fenti elrendezésben alkalmazunk, ez mindig ugyanarra a helyre tehető vissza, a berendezést nem kell újra jusztirozni.

Egy másik lehetséges elrendezés látható az 5. ábrán. Ez abban különbözik a 4. ábra szerinti megoldástól, hogy itt az "m" pontnál három, az "n" pontnál két, az "o" pontnál egy kényszert alkalmazunk, míg az előbbi esetben mindhárom érintkezési



6. ábra. Kinematikus szerkesztési elvek alapján készült laboratóriumi állványok.

pont egyenként két-két kényszert jelentett. Az ilyen elrendezés további előnye az előbbihez képest, hogyha az "o" pontnál lévő felkészített felületre egy csucsban végződő mikrométercsavart helyezünk el, a rögzíteni kívánt szilárd testet dönteni is lehet.

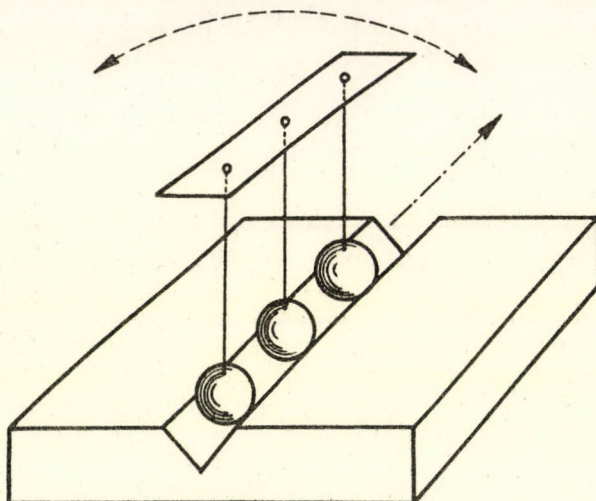
Abban az esetben, ha valamilyen mérőeszközt vagy berendezést magasan akarunk elhelyezni, a reprodukálható rögzítéshez nagyon jól alkalmazhatók az egymásra rakható három lábu állványok (6. ábra).

### "Degenerált" rendszerek

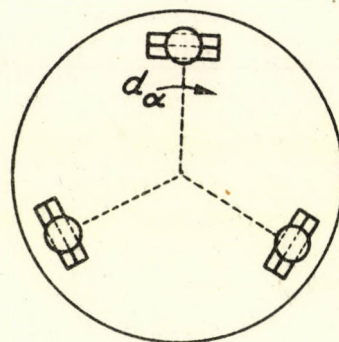
Vannak esetek, amikor pontosan a szükséges számú kényszer van biztosítva, de a rendszer mégsem mondható kinematikailag helyesen tervezettnek. Ilyenkor azt mondjuk, hogy a rendszer "degenerált". Nézzünk ezekre néhány példát:

I. Ha a három pont egy egyenesen fekszik, a rendszer nem definiált. Ekkor ugyanis ugyanaz a helyzet mintha csak két közös pont lenne (azaz  $6-4 = 2$  szabadsági fok jellemzi a rendszert), mert a harmadik pont is ugyanazt a szabadsági fokot köti meg,





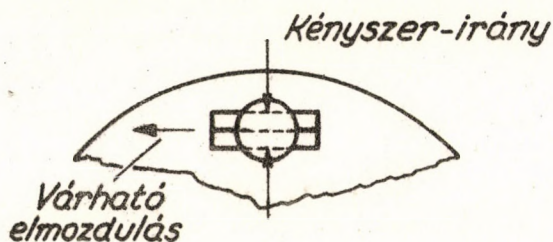
7. ábra. A hat kényszerfok biztosítás ellenére a három ponton átmenő tengely mentén forgás lehetséges, az elrendezés "degenerált".



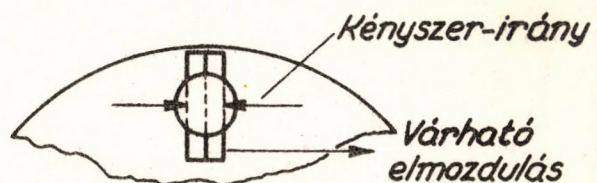
8. ábra. "Degenerált" kinematikus elrendezés; a hornyokban lévő gölyök kis mértékben elfordulhatnak ( $d\alpha$ ).

mint a második. Így két szabadsági fok marad lekötetlenül; ez pedig a három ponton átmenő tengely körül egy forgást és a horonyban lineáris eltolódást jelent. A rendszer "aluldefiniált" (7. ábra).

II. Vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor a 4. ábra szerinti elrendezést úgy változtatjuk meg, hogy a három vályu alakú horony egy kör érintőjén feküdjön. Ez az elgondolás is degenerált, mert egy elemi kis  $d\alpha$  elfordulást megenged (8. ábra). Ugyanez a helyzet akkor is, ha az 5. ábra szerinti megoldást úgy módosítjuk, hogy az "n"-nel jelzett hornyot  $90^\circ$ -al elfordítjuk. A magyarázat mindkét esetben az, hogy a



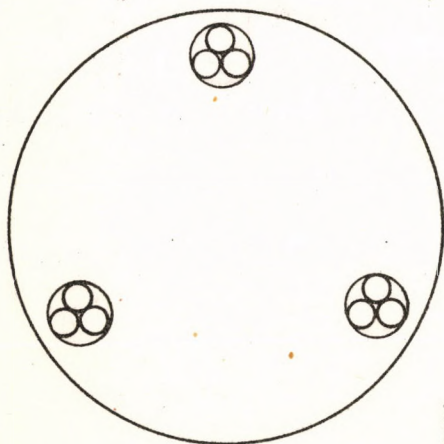
$a_1$



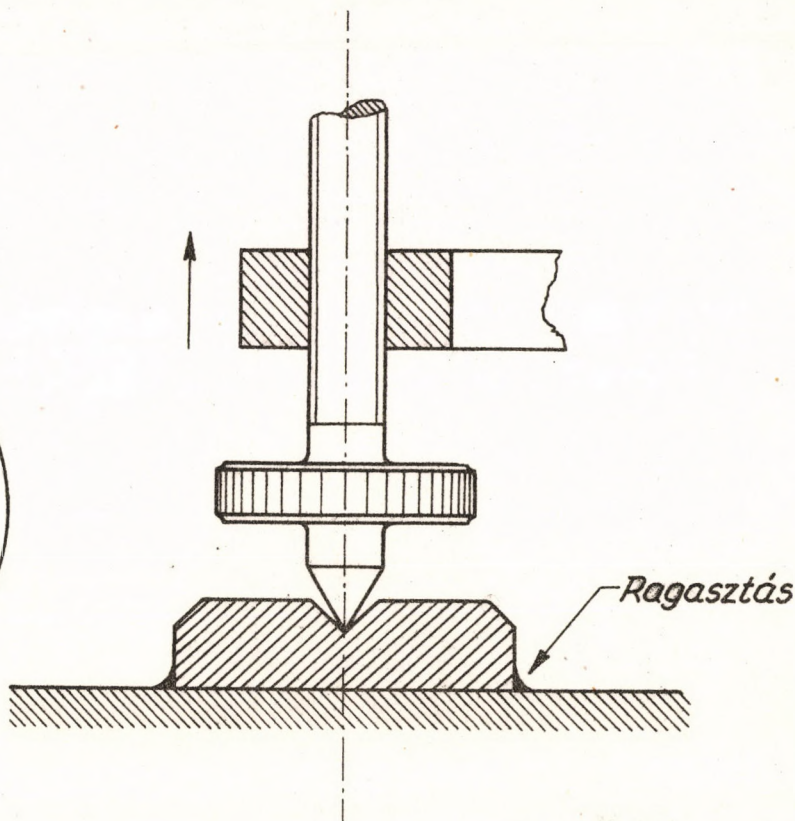
$b_1$

9. ábra. A várható elmozdulás és a kényszerirány figyelembe vételével megvalósítható helytelen (a.) és helyes (b.) elrendezés kinematikus tervezésnél.





10. ábra. "Tuldefiniált" elrendezés.



11. ábra. Elrendezés csavaros lábakon álló műszerek rögzítésére.

kényszer és a várható elmozdulás egymásra merőleges és nem egyirányú (9. ábra). A tervezésnél tehát mindenkor számításba kell venni a várható elmozdulások és a kényszerek irányát is, és csak abban az esetben járunk el kinematikailag helyesen, ha ezek egyirányúak.

III. Ha mind a három ponton való felfekvést egymáshoz forrasztott csapágygolyókkal oldjuk meg (10. ábra), a rendszer "tuldefiniált" lesz, mert  $3 \times 3 = 9$  kényszert alkalmaztunk a szükséges 6 helyett. A három felesleges kényszer konkrétan a három pont egymástól való távolságát jelenti. A rendszer csak nagy pontosságu kivétel esetén biztosít a három lábnak billegésmentes beilleszkedést a csészékbe.

Ilyen típusu tuldefiniált felfekvéssel találkozunk analitikai mérlegeknél és tükrös galvanométereknél, amelyek három csucsban végződő csavaros vízszintező lábbon nyugszanak. A lábak csúcsa kis csészékre támaszkodik (11. ábra). Ha a kis csészéket az asztalhoz rögzítjük, akkor távolságuknak igen pontosan egyezniük kell a három műszerláb távolságával. Ha viszont nem rögzítjük azokat, akkor minden elmozdulás után újra kell vízszintezni és jusztirozni a műszert. Az adjusztálás lehetőségének biztosításával a tuldefiniáltságból eredő mindkét hátrányt kiküszöbölhetjük, ha a csészéket csak utólag rögzítjük az asztalhoz, miután a műszert rájuk helyeztük. (A rögzítést olvadt kolofónium-kitt meleg pálcával, odacsepegtetésével és körülfolytatásával végezzük.)



### Sztatikai megfontolások kinematikai tervezésnél

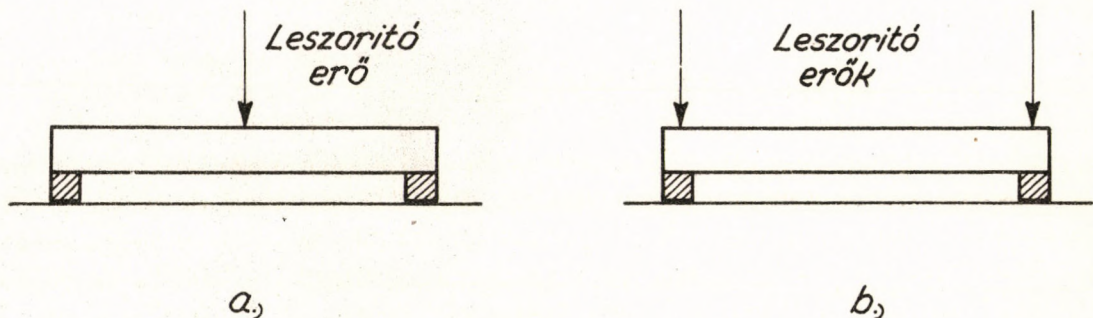
A szilárd testek egymáson való rögzítésének gyakorlati megoldásainál figyelembe kell venni, hogy a felhasznált anyagok teherbíró képessége véges. A rugalmassági határon túl alkalmazott terhelés esetén maradandó alakváltozás lép fel. Elméletileg az ideális tühegy jelentia tökéletes pontszerű felfekvést egy sík felületre. A gyakorlatban a tü hegyén deformációt okozó igen nagy nyomás lépne fel. Helyette a gyakorlatban igen jól használható a csapágygolyó, melynek felülete simára és gömbölyűre van köszörülve és anyaga kemény, kopásálló, igen rugalmas acél. A túlterhelés hatására egy végleges, plasztikus deformáció jön létre, melynek maximálisan megengedhető értéke - a zöld fény hullámhosszának felét - cca.  $0,25 \mu\text{m}$ -t nem haladhatja meg. Ezen deformációt okozó  $P$  terhelő erő kapcsolatban van a golyó  $D$  átmérőjével (mm-ben) a  $P = SD^2$  formula szerint, ahol  $S$  az acélfajta megengedhető maximális terhelhetősége  $\text{kp/mm}^2$ -ben,  $P$  a golyóra helyezhető terhelés  $\text{kp}$ -ban. Az I. táblázat a megengedhető terhelési adatokat tartalmazza különböző anyagok esetén, csapágy acélgolyót alkalmazva.

A táblázat szerint pl.  $1 \text{ mm}$   $\varnothing$ -jú golyóra  $0,5 \text{ kp}$  engedhető meg,  $D \text{ mm}$  átmérőre cca.  $0,5 \cdot D^2$ , ha a sík is csapágy-acél.

Az eddigiek során feltételeztük, hogy az egymásra helyezett pontok érintkezésben maradnak. Ez igen gyakran minden külön erőhatás nélkül teljesül, ugyanis

I. táblázat

| Terhelési értékek csapágy-acél golyó esetén |                      |
|---|----------------------|
| Anyag minősége                              | $S [\text{kp/mm}^2]$ |
| 0,9 % szénacél edzve                        | 0,245                |
| 0,9 % szénacél szuper edzett                | 0,731                |
| Csapágygolyó acél (króm-szénacél)           | 0,513                |
| Öntöttvas                                   | 0,011                |
| Foszförbronz                                | 0,012                |
| Sárgaréz                                    | 0,004                |



12. ábra. Leszorító erők helytelen (a.) és helyes (b.) alkalmazása.

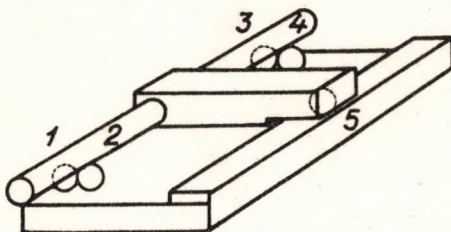


sok esetben a rögzíteni kívánt szilárd test saját súlya biztosítja a felfekvő pontok biztos érintkezését. Minden más esetben külön erőt kell alkalmazni, hogy a pontok beilleszkedjenek a kényszerbe. A leszorítás történhet rugóval, csavarral, stb. Minden esetben gondoskodni kell arról, hogy a leszorító erő ne okozzon rugalmas vagy rugalmatlan deformációt, s ezért azt a kényszer korlátozó helyén kell alkalmazni (12. ábra).

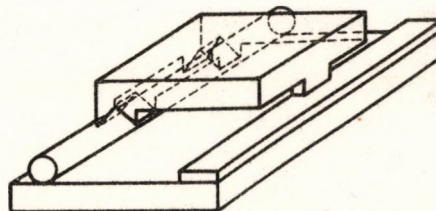
## Két szilárd test viszonylagos megengedett mozgásának kinematikus tervezése

Az egyirányú transzlációs mozgás biztosításához öt szabadsági fokot kell lekötni (pl. mikroszkóp asztal, komparátor, leolvasó mikroszkóp, stb.). A gyakorlati kivitelezéseknél figyelembe kell venni, hogy forgástestek és sík felületek létrehozása nagy pontossággal megoldható (esztergálás, gyalulás, köszörülés), valamint az egy ponton való érintkezés gyakorlati megvalósítására a csapágygolyó mind sztatikailag, mind kinematikailag igen alkalmas. Egy ilyen megoldás látható a 13. ábrán.

Ha a transzlációs mozgást végző szilárd test nagy megterhelést okoz, akkor az érintkezési felületeket meg kell növelni. Az ilyen megoldást, ahol kinematikus elvek érvényesülnek ugyan, de az érintkezési felületek megnövekedtek, fél-kinematikus (szemi-kinematikus) elrendezésnek nevezzük. Ilyen elrendezést mutat a 14. ábra. Az ilyen elrendezéseket elkészültük után össze kell csiszolni, hogy a felfekvést egyértelműen biztosítsuk.



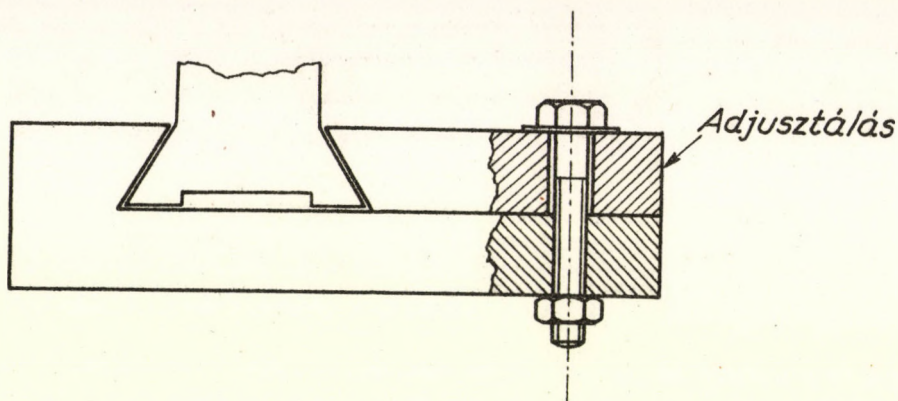
13. ábra. Kinematikus szerkesztés egyirányú transzlációs mozgás biztosítására. A számokkal megjelölt érintkezési pontok a pontkényszerek helyeit jelzik.



14. ábra. Fél-kinematikus szerkesztés egyirányú transzlációs mozgás biztosítására. Az elrendezés hasonló a 13. ábrán látható elrendezéshez, de itt a pont-kényszereket felület-kényszerek helyettesítik.

Az igen gyakran alkalmazott "fecske-farku" megoldás kinematikailag teljesen hibás, mert a két szilárd test megszámlálhatatlan és definiálatlan sok ponton érintkezik egymással. A csuszó felületek kopása miatt az érintkezési pontok helye változik és az eredetileg tervezett transzlációs irányra merőlegesen is lesz elmozdulás, azaz a csuszó szilárd test (szán) kotyogni fog. A már elkészült fecske-farku megoldáson valamelyest segíteni lehet, ha a csuszó felületet összezsírozással és olajozással növeljük és a kotyogást valamilyen jusztírozási módszerrel megszüntetjük, illetve csökkentjük. A 15. ábrán egy ilyen megoldás látható.





15. ábra. Adjusztálási lehetőséget biztosító elrendezés "fecske-farku" megoldás esetén. A szán alsó lapjának kimélyítése fél-kinematikus elgondolás.

A fecske-farku megoldások kevésbé precíz kivitelezésén is javítani lehet gondos összeecsizolás és alkalmas kenőanyag segítségével. Az összeecsizolási eljárás lényege, hogy a csuszó felületek közé carborundum-por, habkő-por vagy pl. gamma-alumíniumoxid és olaj keveréket tesznek, majd a két szilárd testet sokáig egymáson mozgatják. E művelet eredményeképpen a felületeken kiálló részek lekopnak és egy igen pontos vezetőpálya alakul ki. A kinematikus elvek teljes hiánya miatt az eljárás igen nagy költségek mellett sem biztosít hosszú időre – a már említett okok miatt – állandó és elegendő nagy vezetési pontosságot. Elkészítéséhez igen drága és pontos célgépek kellenek, amelyek csak sorozatgyártásban termelnek kifizetődően. Az ilyen "fecskefarkos" csuszó szán egyedi, pontos kézi elkészítése nehéz, költséges. Nagy-tapasztalatu, gyakorlott műhely-munkaerőt és sok munkaórát kíván. Gyári sorozatgyártásban, precíziós célgépekkel, viszonylag komoly beruházással megvalósítható és természetesen így alkalmazzák is. Természetesen kopásra így is érzékeny marad. Ha a fizikus egy "ad hoc" feladat egyedi megoldására kényszerül, célszerűbb, ha kinematikailag jól átgondolt megoldást választ.

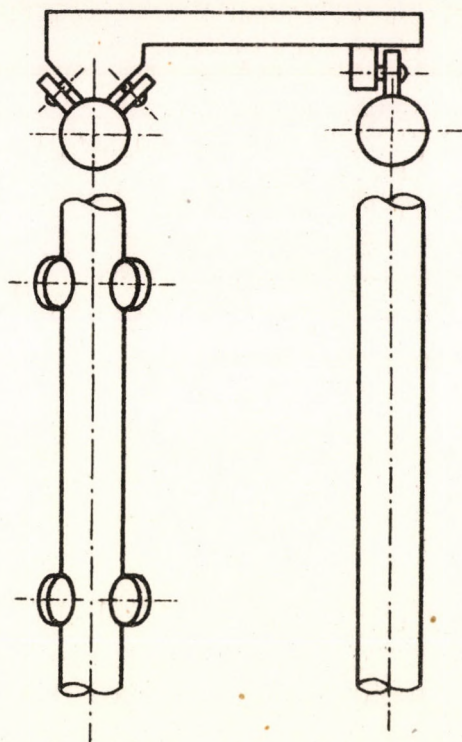
Az egyirányú mozgások megvalósítása során gördülő golyókat is használhatunk. Nagy erők esetén egész sor golyót használhatunk távolságtartó persellyel. Ebben az esetben a szerkezet elvileg nem lesz szigorúan kinematikus, de a tömeggyártási pontosság golyóknál igen nagy ( $\mu\text{m}$  pontossággal lehet gyártani) és így kis surlódású szánt lehet készíteni. Ezen elv továbbfejlesztése a golyóscsapág, melyet széles körben alkalmaznak.

A golyóscsapág fél-kinematikus elrendezéseknél való alkalmazására egy lehetőséget a 16. ábra mutat.

A fél-kinematikus esetekben a két egymáson csuszó felület közé helyezett vékony olajréteg – melynek vastagsága a kivitelezés pontatlanságából eredően változó – egyenletesen osztja el a terhelést és így a surlódás csökkentése mellett egyuttal biztosítja a majdnem kinematikus mozgást is.

A kinematikai tervezés alapelvét abban foglalhatjuk össze, hogy kerüljük a fölös számú (redundáns) kényszer alkalmazását. A szükséges szabadsági fok meghagyásából kiindulva, csak annyi kényszert alkalmazzunk, amennyi a nem kívánt mozgások





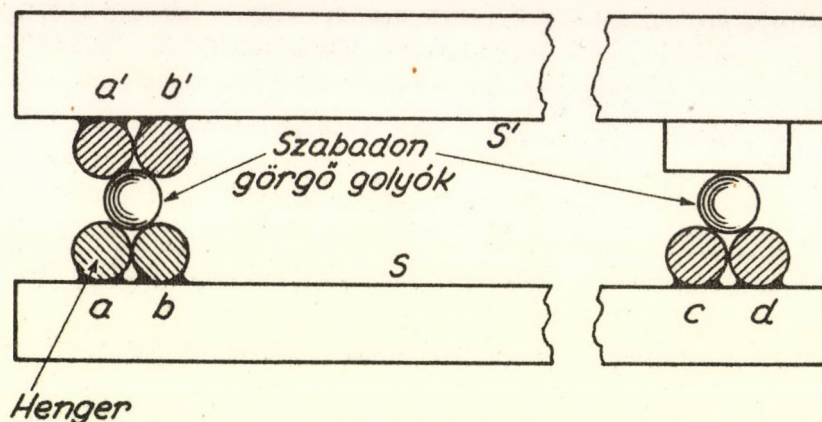
16. ábra. Egyirányu transzlációs mozgás biztosítása golyóscsapágy felhasználásával.

megakadályozására szükséges és ezt csak a kívánt számú, jól definiált pontokon alkalmazzuk. A kényszererő legyen ellenkező irányú a megakadályozandó mozgással, és merőleges a megengedett mozgásra.

#### Igények a kivitelezési pontossággal szemben, kinematikus és nem kinematikus esetekben

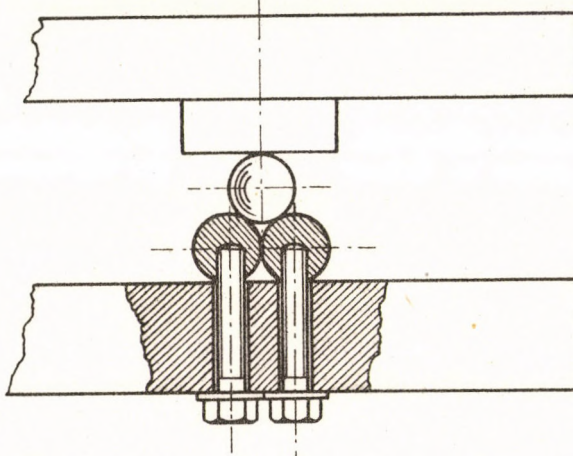
Ha a fizikus a műszertervezésnél tudományos logikával jár el és a kinematikai elveket tudatosan alkalmazza, akkor a műszer a kivitelező műhellyel szemben kisebb pontossági igényt támaszt és jól működő pontos műszerhez jutunk. Ezzel szemben kinematikailag hibás elgondolás alapján még igen nagy műhely pontossági igények és költségfelhasználás mellett is nehéz igazán jó műszert készíteni. Csak ott és annyira térjünk el az eleve kinematikai elgondolástól, ahol és amennyire a fellépő nagy erők kényszerítenek bennünket. Ha a tervezés a kinematikus elvek alapján történik, a kivitelezésnél csak alakhűséget (alakpontosságot) kell megkövetelni. Szükséges, hogy a henger pontosan henger, a sík pontosan sík legyen. A 13. ábrán látható, kinematikus elrendezésnél a pontosan egyirányu transzlációs mozgás akkor is biztosítva van, ha a csuszó hengeres rud átmérőjét vagy a golyó átmérőjét – vagy mindkettőt – megváltoztatjuk. Ha az egyirányu elmozdulást a 17. ábra szerinti kinematikus elrendezéssel oldjuk meg, csak arra kell ügyelni, hogy az  $S$  és  $S'$  felkészörült felületekre alakhű hengereket helyezünk el. (A bal oldalon 2, a jobb oldalon 1 szabadon görgő golyó van.) A kinematikus elvek viszont nem jutnak érvényre, ha a 17. ábra szerinti elrendezésnél a hengerek átmérője helyről-helyre változik vagy azok görbék. (Ha mindkét henger kúpos, ez nem okoz különleges problémát, mert ez is egy egyenest reprezentál.)





17. ábra. Egyirányú transzlációs mozgást biztosító elrendezés csapágy-golyók felhasználásával. Az a, b, a', b', c és d hengerek az S és S' felületekre pl. ragasztással rögzíthetők.

Nem kinematikus elrendezéseknél az alakhüségén kívül még egy nagyon fontos feltételnek kell teljesülni: a méretpontosságnak. Figyelembe kell venni továbbá azt a tényt is, hogy a nem teljesen kinematikus elrendezések esetén a kopás első rendben hibát okoz. Minden esetben igaz, hogy nem kinematikus megoldású műszer mérési pontossága nem haladja meg a műszer elkészítésének pontosságát. A nem teljesen kinematikus esetekben a megoldás pontossága úgy növelhető, ha figyelembe vesszük a kinematikus elveket, és a lehetőségekhez képest alkalmazzuk azokat. A pontosabb, tökéletesebb, nem teljesen kinematikus kivitelezések esetén a berendezéseknek adjusztálhatónak (után állíthatónak) kell lenni. Az adjusztálás kivitelezése nagymértékben befolyásolja a mérőberendezéssel elérhető mérési pontosságot. Miután az utánállítás biztosítja, hogy a fél-kinematikus elvek alapján szerkesztett berendezések mérési pontossága - a lehetőségekhez képest - állandó maradjon, pontos mérőeszközök kellene az adjusztálás ellenőrzésére. Ha a 17. ábra szerinti megoldást választjuk valamilyen súlyos vagy nagy terhet szállító csuszótest transzlációs mozgásának biztosítására, a nagy teher miatt a kinematikus elvek nem alkalmazhatók, azaz a három golyó helyett többet kell alkalmazni. Elsősorban (lehetőleg egy  $\mu\text{m}$ -en belül) pontosan egyforma golyókat vá-



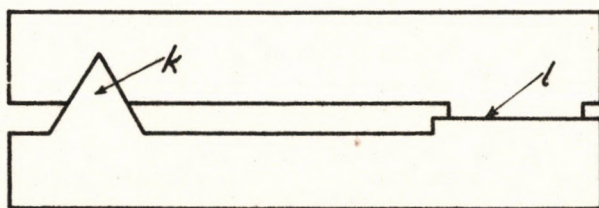
18. ábra. Adjusztálási lehetőség transzlációs mozgás esetén.



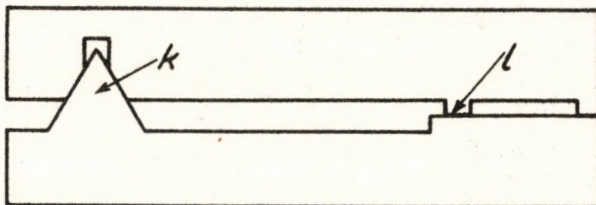
logatunk össze. Gondoskodnunk kell továbbá arról, hogy a két golyósor két pontosan párhuzamos vonalon mozogjon. Ennek elérésére mindkét hengerpár irányának beállítására jusztirozási lehetőséget biztosítunk (18. ábra.)

Már a fentiekből láttuk, hogy mikor térünk el a kinematikus szerkesztési elvektől. Akkor, ha a fellépő erők olyan nagyok, hogy a két szilárd test mozgása között alkalmazott kényszereket nem lehet három, pontosan definiált érintkezési pontra korlátozni. A nagy erők miatt nagyobb felületekre kell a megterhelést elosztani, tehát a kinematikai elvek rovására és a sztatikai szerkesztési szempontok javára engedményt kell tennünk. Így jutunk a fél-kinematikus szerkesztéshez, ahol szem előtt tartjuk a kinematikus elveket és azoktól csak annyira térünk el, amennyire az anyag véges teherbíró képessége és a fellépő erők kényszerítenek bennünket.

A szerszámgépeken is egymáson mozgó szilárd testekkel találkozunk, ahol a tervezett mozgásszabadságot kényszerek biztosítják. A forgácsolásnál fellépő erők nagysága miatt a szerkesztésnél eltérnek a kinematikai elvektől. Mivel a szerszám-



19. ábra. Esztergagépeken használatos vezetés egyirányu transzlációs mozgás biztosítására.



20. ábra. Átalakított vezetési mód esztergapad esetén.

gépek maguk is egymáson csuszó részekből állnak, az ezekkel készített darabok kivitelezési pontossága nagymértékben függ a gépek kivitelezési pontosságától. Ezt figyelembe véve a következő fontosabb megmunkálási eljárások különböztethetők meg:

a.) kevésbé pontosak: eszterga-, gyalu-, marógépek.

Esztergapaddal főleg forgástesteket, ritkábban síkokat munkálnak meg. A könnyen megvalósítható pontosság 0,01 mm; 0,001 mm-es pontosság esetén rezgésmentes felállítás, fél-kinematikus elvek alkalmazása szükséges. Ilyenkor vidialapkával, gyémánttal felfegyverzett forgácsoló szerszámot használnak.

b.) pontosabbak: köszörűgépek (sik- és palástkösörűk).

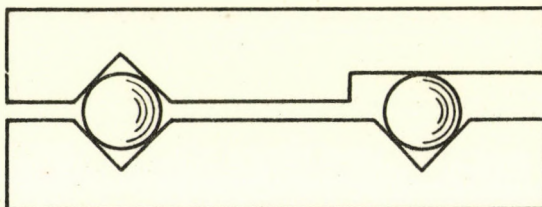
A ható erők itt kisebbek, mint előbb, s ezért a kinematikus elveket könnyebb figyelembe venni. Sikkösörű esetén a munkadarab felfogása gyakran mágnessel történik; palástkösörű esetén csucok közé fogják fel forgástestek megmunkálásakor. A megmun-



kálási pontosság: 0,001 mm.

c.) legpontosabb: finom csiszolás (célgéppel vagy kézi eljárással). A munkadarab végső mérete és felülete adható meg ezen eljárással (pl. optikai üveg alkatrészek).

Az esztergagépeken használatos vezetésen (19. ábra) - mely a fellépő nagy terhelések miatt nélkülöz minden kinematikus elgondolást - valamit javítani lehet, ha a  $k$  és  $l$  érintkezési felületeket a 20. ábra szerint alakítjuk át. Ezzel az átalakítással - ha ez nem is tekinthető teljesen fél-kinematikus megoldásnak - a lehetőségek

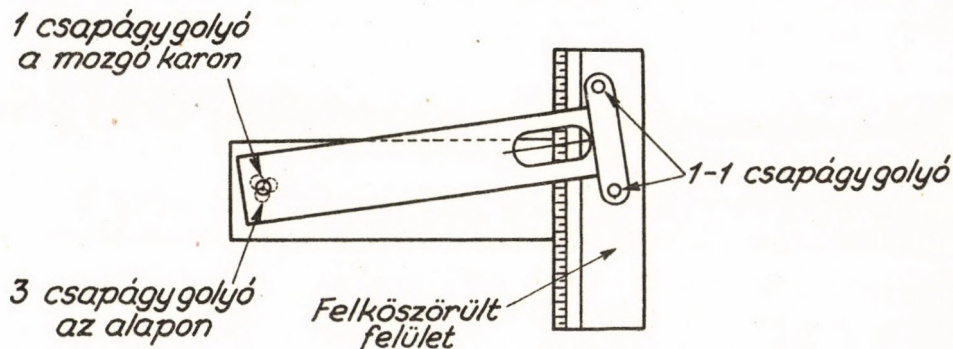


21. ábra. Fél-kinematikus megoldás sikköszörű gépek esetén egyirányú transzláció biztosítására.

hez képest figyelembe vettük a kinematikus elveket. Precíziós sikköszörű gépek esetén a vezetést már teljesen fél-kinematikus elvek figyelembevételével oldják meg (21. ábra).

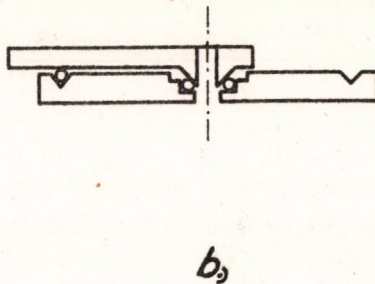
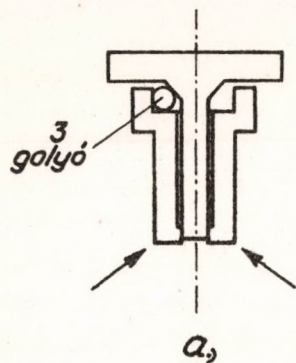
#### Tengely körüli forgómozgás kinematikus tervezése

Ha a hat szabadsági fokból úgy kötünk meg ötöt, hogy a megmaradt egy szabadsági fok valamely tengely körüli forgómozgást jelent, megoldottuk a forgómozgás kinematikus szerkesztését. Az egyszerű forgómozgások esetén a kinematikus szerkesztési elveket nem használják olyan gyakran, mint transzlációs mozgásoknál. Ez nem a kinematikus tervezés gyengeségeivel vagy hiányosságaival magyarázható, hanem egyrészt azazal, hogy a tradicionális szerkesztési elvek ez esetben igen jónak bizonyulnak (tengelyeket, furatokat igen nagy pontossággal lehet előállítani), másrészt nagyobbak a terhelések, mint transzlációs mozgás esetén. Ha nagyon pontos rotációs mozgás biztosítása



22. ábra. Egyszerű kinematikus megoldás forgó mozgás biztosítására.



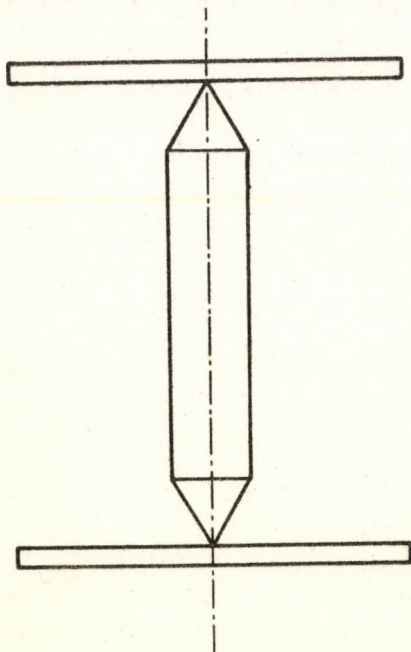


23. ábra. Megoldások - kinematikus szerkesztési elvek figyelembevételével - forgó mozgás biztosítására.

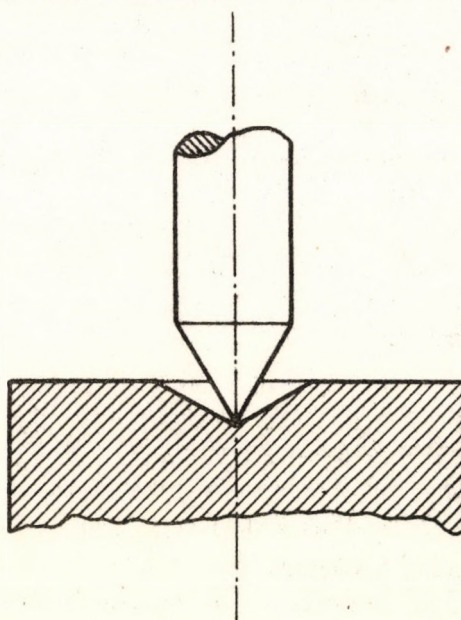
a követelmény, vagy ha a forgó rész nem jelent nagy megterhelést, a kinematikus szerkesztés jelenti a legpontosabb megoldást. Egy ilyen alkalmi, házi laboratóriumi megoldást mutatunk be a 22. ábrán.

A gyári készítésű műszerek és berendezések esetén az egy tengely körüli forgómozgást biztosító megoldások a legtöbb esetben félkinematikusak. A 23.a. ábra szerinti megoldás azért tekinthető fél-kinematikusnak, mert a nyilakkal jelzett helyeken az érintkezés nem kinematikus; ez azonban az elfordulást nem nagyon befolyásolja. A 23.b. ábrán látható megoldás teljesen kinematikusnak tekinthető, ha a horony kivitelezési pontatlansága nem befolyásolja a forgó mozgás pontosságát.

Most vizsgáljuk meg, hogy a nagy sorozatban gyártott órák esetén hogyan oldják meg a tengelyvégek megtámasztását, azaz általánosabban az egy tengely körüli forgómozgást. Az ideális állapotot, azaz a kinematikus megoldást a 24. ábrán látható



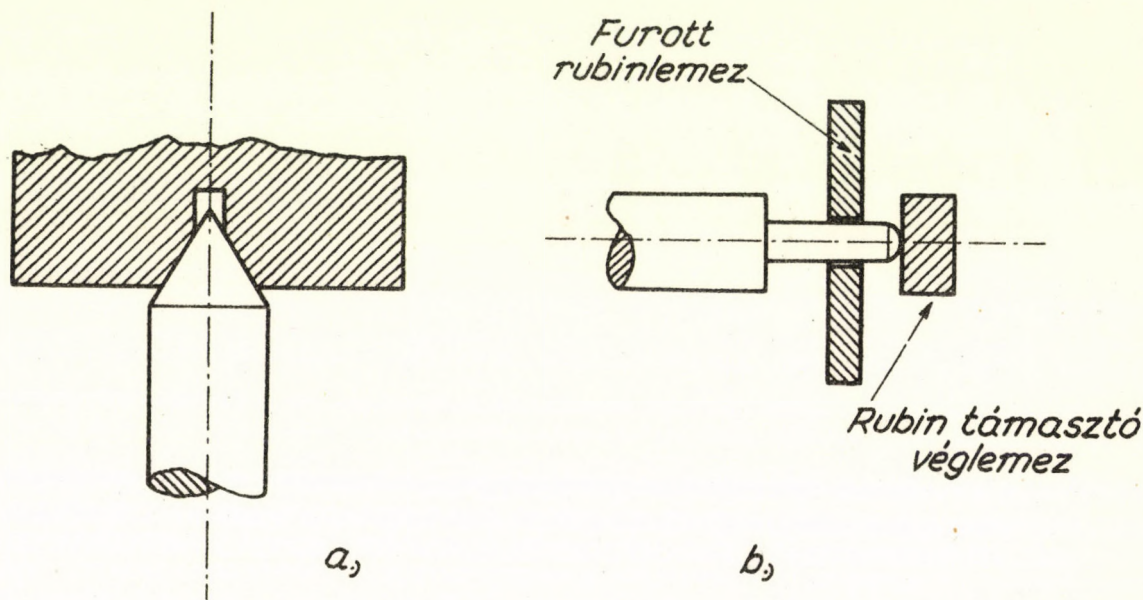
24. ábra. Ideális megoldás forgó mozgás biztosítására.



25. ábra. Tengelyvég megtámasztása kupos mélyedésben.



megoldás jelentené. Itt mindkét ponton egyenként 3-3 szabadsági fok van megkötve, de a két pont közti távolság egy kényszerfok csökkenést jelent. A megmaradó egy szabadsági fok biztosítja a két érintkező pontot összekötő egyenes, mint tengely körüli forgó mozgást. A gyakorlatban ez az elrendezés nem alkalmazható, mert a két pont felfekvése nem pontosan definiált. Ha a tűhegyesre kiképzett tengelyvégeket a 25. ábra szerinti kúpos mélyedésbe tesszük, a tengelyvégek felfekvése így már biztos lesz; a tűhegyek nagy terhelése esetén azok gyors kikopása viszont ebben az esetben sem kerülhető el. Kompromisszumot kell tehát kötni; olyan megoldást kell keresni, amelyik lehetőleg kinematikus elven alapszik és igen hosszú ideig biztosítja a tengely állandó helyzetét. A 26. ábrán két ilyen megoldást mutatunk be.



26. ábra. A gyakorlatban jól bevált tengelyvég megtámasztási elrendezések.

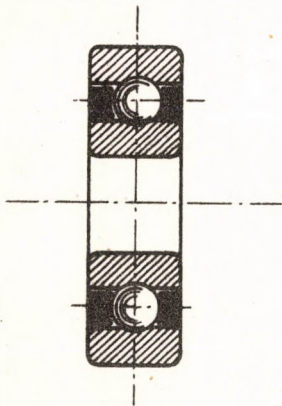
### Csapágyak

A golyóscsapágyak úgy jönnek létre, ha két szilárd test egymáson való mozgását a 16. ábra szerint úgy oldjuk meg, hogy több golyót alkalmazunk és a vezető pályát köralakúra képezzük ki. A csapágyak – miután a kinematikus elvek szerint több golyóval rendelkeznek a szükséges minimumnál – fél-kinematikus szerkezeteknek tekinthetők. Ezek alkalmasan megválasztott méretű részekből állanak, melyeket igen pontos, speciális tömeggyártási módszerrel készítenek. Anyaguk igen jó minőségű, ötvöztött acél. Az igen sok fajta csapágy közül néhány, a mindennapi életben leggyakrabban használtat vizsgáljunk meg. A 27. ábrán látható az egysoros mélyhornyu csapágy. A legáltalánosabban használt csapágy fajta; mind radiális, mind axiális mérséklet igénybevétel esetén igen jól felhasználható. Az egysoros ferde hatásvonalu csapágyakat (28. ábra) páronként használják.

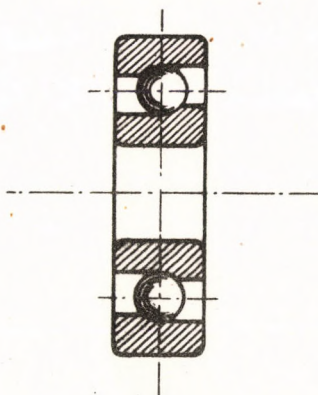
A 29. ábrán látható talpcsapágy tisztán axiális irányú nyomó erőhatások esetén alkalmazható. A már említett ferde hatásvonalu csapágy terhelést nem bír; ha



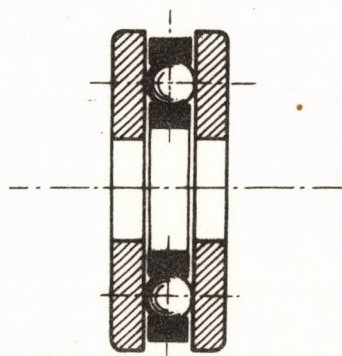
ilyen típusú csapágyakat erősebben terhelni kívánunk, a golyókat kup- vagy henger-  
görgő alakúra kell kiképezni. Tisztán radiális irányú erőhatások esetén az ugynevezett  
tűgörgős csapágyak használhatók. (A tűgörgők olyan hengerek, melyeknek hossza jóval  
nagyobb átmérőjüknél.) Az önbeálló csapágyak csak radiális igénybevételre alkalma-  
zhatók. A csapágy golyók kivitelezési pontosságától nagymértékben függ a csapágyak  
pontos működése. Mint már említettük, ez a probléma ma már megoldottnak tekinthető,  
hiszen egyes csapágygyárak golyókat  $0,5\text{ }\mu\text{m}$  pontosságra gyártanak, illetve válogatnak  
össze. Közöséges golyóscsapágnál  $0,02\text{ mm}$  kotyogás megengedett.



27. ábra. Egysoros,  
mélyhornyú golyóscsapágy.



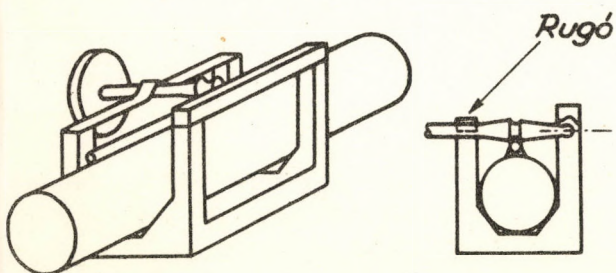
28. ábra. Egysoros, ferde  
hatásvonalú golyóscsapágy.



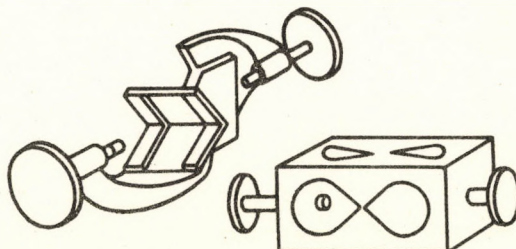
29. ábra. Talpcsapágy.

## A kinematikus elvek további alkalmazásai

A kinematikus elvek gyakorlati alkalmazásai során már eddig is szinte lép-  
ten-nyomon láthattuk ezen elvek nagy fontosságát. A minimális kényszer alkalmazásának  
kinematikus elvét a legegyszerűbb esetekben is figyelembe kell venni, még olyankor is,  
ha ezeket nem lehet szigorúan betartani. Precíz berendezések esetén a szigorú vagy  
közel szigorú kinematikus szerkesztés esetén idő és pénz takarítható meg, mivel nagy  
kivitelezési pontosságra nincs szükség. Miután az alkatrészeket előállító szerszám-  
gépek egyes esetektől eltekintve még fél-kinematikusnak sem mondhatók, az előbbi



30. ábra. Leolvasó mikroszkópoknál  
használatos fél-kinematikus megol-  
dás transzlációs mozgás biztosítá-  
sára.



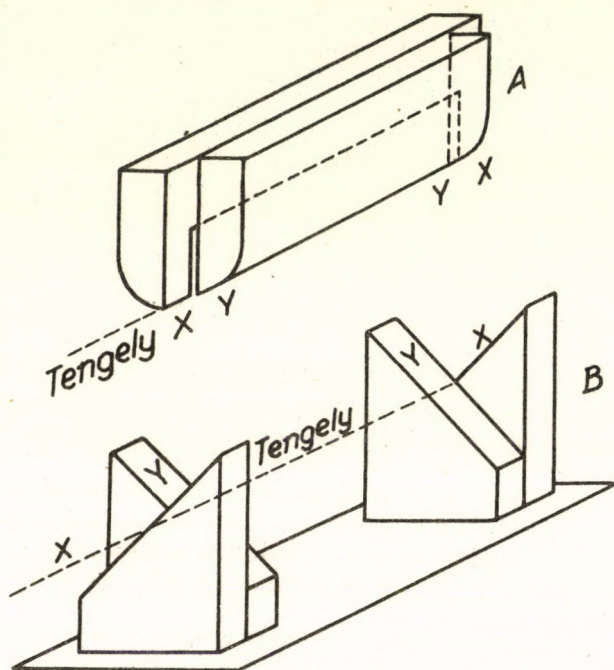
31. ábra. Kinematikus elvek alapján  
készült szorítók.



előnynek igen nagy a jelentősége. Persze a kinematikus elvek elhagyásával is lehet egyes esetekben (pl. forgások esetén) nagy pontosságot elérni. A kinematikus szerkesztés kis terhelésű csuszásoknál a legelőnyösebb. A 30. ábra egy fél-kinematikus szerkesztésű csuszó megoldást mutat, melyet a leolvasó mikroszkópnál alkalmaznak.

Mindennapos probléma az egyszerű laboratóriumi eszközök összekapcsolása. Ezt akkor sikerül a leggyorsabban és a lehetőségekhez képest pontosan megvalósítani, ha az eszközök (alkatrészek) kinematikusan kapcsolódnak. A kinematikus elven alapuló szorítókat mutatunk be a 31. ábrán.

A kinematikus szerkesztési elveket *Maxwell* óta egyre inkább alkalmazzák. Cambridgeben készült el még 1885-ben egy teljesen kinematikus szerkesztésű mikrotom. Ezen berendezésnél használt kinematikus tengely megoldás a 32. ábrán látható.



32. ábra. Kinematikus tengely megoldás. Az A szerint kiképzett forgó rész az X és Y tengelyeken fekszik fel B megfelelő síkjaira.

Mint már arról szó volt, a kinematikus elveket akkor is figyelembe kell venni, ha két szilárd testet úgy kell összekapcsolnunk, hogy pontok helyett surlódó felületeket tervezünk. Ilyenkor megfelelő elemekkel meg lehet oldani, hogy a fellépő erők az alkatrészek közti biztos érintkezést a kényszerek megzavarása nélkül biztosítsák.

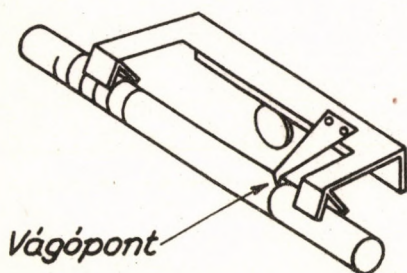
Ez utóbbi feltételt úgy lehet teljesíteni, ha

- a.) szabad játékot biztosítunk,
- b.) az összekötő elemek rugalmas deformációját felhasználjuk.

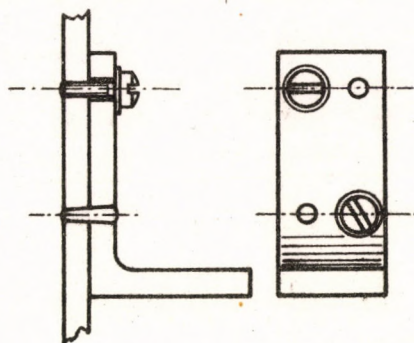
Ha a biztos érintkezés biztosítva van, a berendezés végső helyzete a kényszerek végső helyzetétől és a rugalmas deformációk létrejöttétől fog függni. A "rugalmas átlagoló" alapjait *Merton* rakta le igen szellemesen (33. ábra). A berendezés egy csavarmenet hibáját úgy átlagolja ki, hogy egy pontosabb menetet hoz létre. A henger egyik végére finom menetet vágnak; a menetre egy rugalmas (pl. parafával bélelt) vezető szerkezetet helyeznek, mely egy vágóponttal van szilárd összeköttetésben. A ve-



zetőszerkezet (és így egyuttal a vágópont) longitudinális helyzetét a menetek rugalmas átlagolása definiálja, s így a rud másik végén kialakított menet már pontosabb lesz. Ha az eljárást kétszer, esetleg többször alkalmazzuk, igen egyszerű berendezéssel nagyon pontos menethez jutunk.



33. ábra. "Rugalmas átlagoló"; segítségével több fokozatban igen pontos menet készíthető.



34. ábra. Derékszögű tartó 2 illesztőszeggel és 2 csavarral.

### Mechanikai alkatrészek precíz összeszerelése

A több alkatrészből álló (mért) berendezés összeszerelésénél is fel kell használni - a lehetőségek figyelembe vételével - a kinematikus elveket. Ezen elvek figyelembevétele révén biztosíthatjuk, hogy a berendezés esetleges szétszerelése után újbóli összerakáskor a lehető legpontosabban ugyanolyan legyen az alkatrészek egymáshoz viszonyított helyzete. Két test összeszerelésére a felhasznált kötőelemeket két nagyobb csoportra oszthatjuk:

- a.) pontos helyzetet biztosít, de erőt nem képes kifejteni (pl. illesztő szeg),
- b.) erőt fejt ki, de pontos helyzetet nem biztosít (pl. csavar).

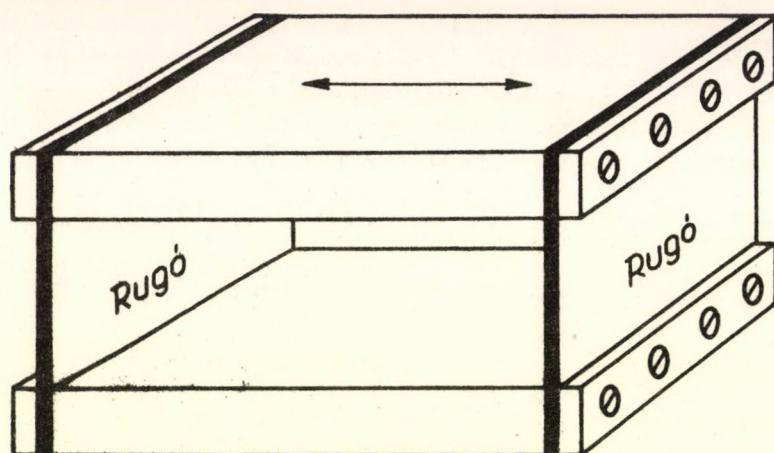
A kötőelemek számát mindenkor úgy kell kiválasztani, hogy felesleges kényszer vagy kényszerek ne jelenhessenek meg. Példaként vizsgáljuk meg kinematikus szempontból a 34. ábrán látható elrendezést. (Derékszögű tartó.)

Két illesztőszeg biztosítja a két test egymáshoz való viszonyított pontos helyzetét. Mivel ezek erőhatást nem bírnak el, gondoskodni kell arról, hogy ez a pontos helyzet rögzítve legyen. Ez utóbbi feltételt biztosítja a két csavar. Egy illesztőszeg kevés lenne, mert ez esetben az illesztőszeg hossz tengelye, mint tengely körül kis elfordulás lehetővé válna; három illesztőszeg már sok, mert a harmadik felesleges kényszert jelentene. (Mindkét esetben két csavart használtunk a rögzítéshez.) A csavarok száma már nem ennyire kritikus: ha illesztőszeget használunk, minimum két csavar kell a deformáció mentes rögzítéshez. Ha illesztőszeget nem használunk, a lehetőségekhez képest minél több csavart kell alkalmazni; ekkor ugyanis a csavarok helyzetbeli pontatlansága kiátlagolódik.

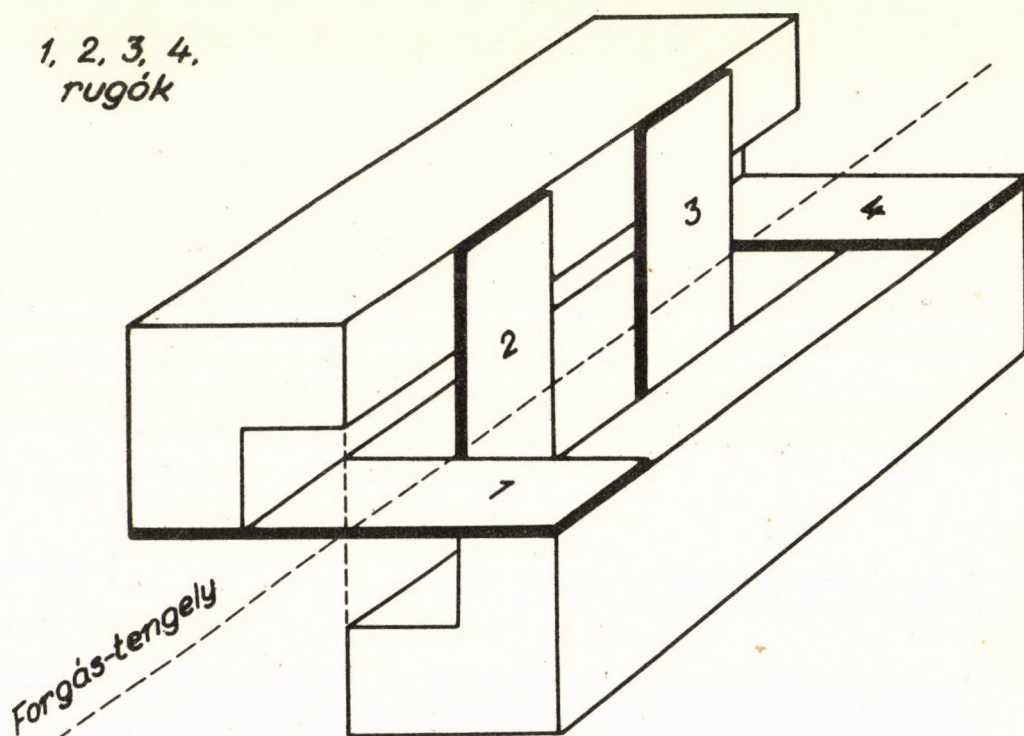
### Rugalmas kényszerek

Vannak esetek, amikor csak kis mértékű elcsuszásra vagy kis szögű elfordulásra van szükség. Ilyenkor a csuszó és gördülő mozgás rugalmas deformációval igen





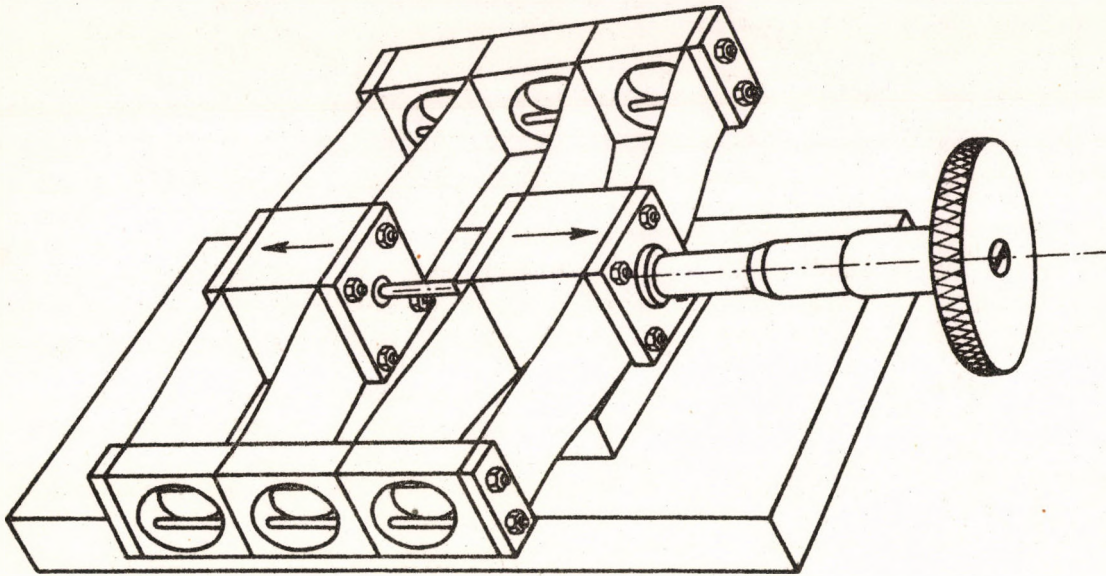
35. ábra. Rugós kényszerek alkalmazása kis translációs mozgás egyszerű biztosítására.



36. ábra. Rugós kényszerek alkalmazása kis elfordulás egyszerű biztosítására.

jól helyettesíthető. A rugalmas deformációt valamilyen rugós megoldás biztosítja. Ha egy mérőberendezés holt játékkal rendelkezik, a mérőberendezés pontossága függni fog attól, hogy a kívánt beállítást a berendezés milyen irányból közelíti meg. (Ez a helyzet valósul meg pl. holt játékkal rendelkező mozgatható mikroszkóp esetén.) Minden csuszó és gördülő mozgásnál valamilyen surlódás is fellép. Már láttuk, hogy a holt játék a kinematikus szerkesztési elvek figyelembevételével elkerülhető, de a surlódást ilyen szerkesztési módszerekkel sem tudjuk megszüntetni. Ha két szilárd test összekapcsolására – a megfelelő helyen alkalmazva azokat – rugós megoldást választunk, olyan



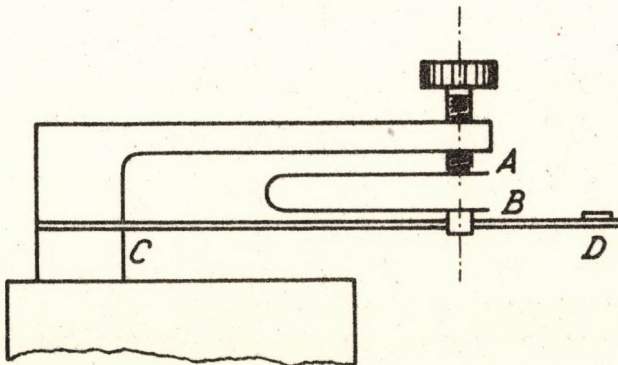


37. ábra. Szimmetrikus rugós rendszer kis transzlációs mozgás biztosítására.

kényszereket kapunk, melyek vagy egyirányú kis transzlációs (35. ábra) vagy kis rotációs mozgást (36. ábra) engednek meg surlódás nélkül (kivéve egy igen kis belső surlódást, ami a rugóban jelentkezik).

A rugós kényszereket igen sokszor alkalmazzák, főleg hordozható berendezéseknél. A rugós kényszerek szerkesztésénél gondoskodni kell a mozgás geometriai értelemben vett jóminőségéről. A 35. ábrán pl. a felső rész mozgása szükségképpen együtt jár egy kis vertikális elmozdulással és ha a rugók nem pontosan szimmetrikusak, forgás és oldal irányú elmozdulás is létrejöhet. A tiszta és pontos mozgást csak a szimmetrikus rugós rendszerek biztosítják. Egy ilyen elrendezés látható a 37. ábrán.

Rugós kényszerek segítségével igen finom szabályozásra nyílik lehetőség. Egy ilyen, az interferométereknél szokásos megoldás látható a 38. ábrán. A szabályzó csavarral egy gyenge rugót feszítünk meg az *A* helyen. Az *AB* rugóban fellépő feszítő erő a viszonylag erős rugót (*BC*) feszíti és így a *D* pont mozgása igen finoman szabályozható. Az elvet olyan helyen is alkalmazni lehet, ahol a fenti erőhatások elektromos vagy pneumatikus elemektől származnak (pl. automatika, távvezérlés).



38. ábra. Rugós kényszerek felhasználása finom szabályozásra.



Műszerek, berendezések forgó alkatrészeinél többnyire biztosítani kell, hogy a forgó rész tömegközéppontja a forgási tengelybe essen. Ha ez teljesül, akkor a nehézségi gyorsulás által létrehozott forgató nyomaték a forgó alkatrész tetszőleges helyzetében nulla. Ez a követelmény nyilvánvaló pl. egy olyan lengőtekerceses műszernél, amelyet a skála vízszintes vagy függőleges helyzetében egyaránt használni akarunk. A kiegyensúlyozás ezen követelményének kielégítését sztatikus egyensulynak nevezzük. Ha pl. egy lengőtekerceses műszer tekercsének forgástengelye a derékszögű térbeli koordinátarendszer (függőlegesen egybeeső)  $z$  tengelyébe esik, akkor a sztatikus egyensúlyi feltétel akkor biztosított, ha az elforduló alkatrészek  $x$  és  $y$  tengelyek irányába eső, valamennyi  $m$  tömeg elemére vonatkozóan a

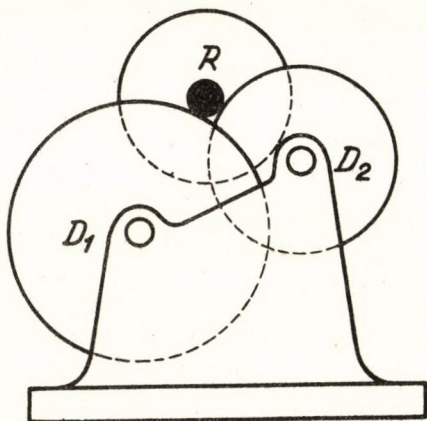
$$\sum m_i x_i = \sum m_i y_i = 0$$

/4/

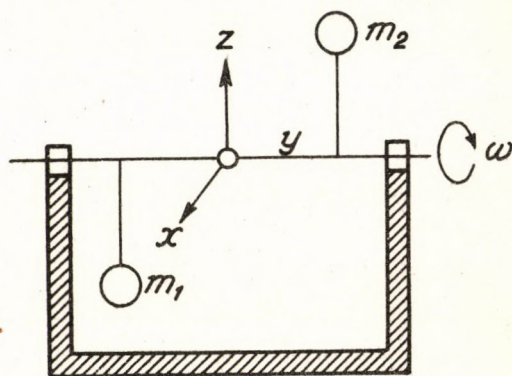
teljesül. Pontos lengőtekerceses műszereknél ezért a sztatikus egyensúly beállításához a forgórészen két jusztirozó tömegpárt helyeznek el egymásra közel merőleges karokon. Kisebb pontosságú műszereknél csak a mutató kiegyensúlyozására szolgáló ellensúlyt találunk.

A sztatikus egyensúly beállítását órák a következőképpen valósítják meg. A forgóalkatrészt két, párhuzamos vízszintes ékre fektetik. Ha a forgás tengelyén nyugvó testet megforgatjuk, jó kiegyensúlyozás esetén tetszőleges helyzetben megállhat: ezért többször egymás után megforgatjuk és a nyugalmi helyzetben megjelöljük a forgási tengelytől legmélyebbre eső pontokat. A tömegeloszlás változtatását mindaddig kell folytatni, amíg a nyugalmi helyzetben kitüntetett irányt nem észlelünk.

Ezen egyszerű megoldással elvileg megegyezik, de jobb sztatikus egyensúlyozás érhető el, ha a forgási tengely alátámasztását párhuzamos ékek helyett a 39. ábra szerinti módon korongokkal végezzük. Az ábrán lévő  $D_1$ ,  $D_2$  egy-egy vízszintes tengely körül forgatható korongpár,  $R$  a kiegyensúlyozandó alkatrész (pl. villanymotor, vagy generátor forgórésze.) A korongpárok párhuzamosságát és a forgási tengelyre való merőleges voltát ellen kell őrizni.



39. ábra. Berendezés forgórészek sztatikus egyensúlyozására.



40. ábra. Dinamikusan kiegyensúlyozatlan rendszer.



A mindennapi életben a sztatikus egyensúly fontos szerepet játszik az órák balansz-kerekének kiegyensúlyozására. Az órák ezt a fent leírt módon szokták végezni, s a forgástengely körüli egyenletes tömegeloszlás a kerék kerületén lévő apró csavarok mozgatásával tapasztalati úton állítható be.

Elektromos műszerek skálalapján a műszer konstrukciójának megfelelően jelzik, hogy a műszer a skálalap milyen helyzetében használható; a  $\perp$ ,  $\sqcap$ ,  $\angle$  jelek függőleges, vízszintes és ferde használati helyzetet jelentenek.

Forgó alkatrészek esetében sokszor a sztatikus egyensúly feltételeinek teljesítésén kívül dinamikus egyensúlyi feltételeket is biztosítani kell. Ennek elsősorban a nagysebességű forgó alkatrészeknél (motorok, centrifugák, gyroszkópos műszerek, továbbá gőz- és gázturbinák, stb.) van fontossága, de felfüggesztett szálu tükrös galvanométerek lengő részét dinamikusan is ki kell egyensúlyozni. A dinamikus kiegyensúlyozás annyit jelent, hogy nemcsak a szilárd test egészének a súlypontja esik valahol a tengelybe, hanem a tengely bármelyik pontjára merőleges síkban fekvő tömegek súlypontja külön-külön is a tengelybe esik.

Tekintsük a 40. ábra szerinti sztatikusan kiegyensúlyozott, de dinamikusan kiegyensúlyozatlan rendszert, melynek forgástengelye az  $y$  tengellyel esik egybe. Forgás esetén centrifugális erő lép fel és a forgó  $m_1$ ,  $m_2$  tömegeket csak megfelelő centripetális erő tudja körpályán tartani. Az ábra szerinti esetben ezen erők  $m_1 z_1 \omega^2$  és  $m_2 z_2 \omega^2$  és  $x$  tengely irányában

$$(m_1 y_1 z_1 + m_2 y_2 z_2) \omega^2 \quad /5/$$

forgató nyomatékot hoznak létre. Ezt a forgató nyomatékot a csapágyakban fellépő reakcióerők (kényszererők) ellensúlyozzák ugyan, de könnyű belátni, hogy ilyen egyenlőtlen tömegeloszlású rendszer forgása esetén a csapágyakra és ezen keresztül a környezetbe zavaró rezgések jutnak. A tengely körül forgó tömegelemek számának növelésével a zavaró effektus csökken, ha a tömegek a forgástengely körül teljesen szimmetrikusan vannak elosztva. Ilyenkor minden tömegpontra ható centrifugális erőt kiegyensúlyoz a tengely átellenes pontján levő tömegpontra ható centrifugális erő. Ekkor ilyen erőpárok nem lépnek fel és a rendszert dinamikusan kiegyensúlyozottnak mondhatjuk. Az  $y$  tengely körüli forgó rendszer akkor lesz egyensúlyban, ha

$$\sum m y z = 0, \quad \sum m x y = 0 \quad /6/$$

teljesül, ami egyenértékű azzal a követelménnyel, hogy a forgástengely az egyik fő tehetetlenségi tengellyel egybeessen. Ezért törekednek a műszaki gyakorlatban forgó alkatrészek szerkesztésekor a tömegeloszlás maximális szimmetriájára. (Saját vibráció elhárítása.)

## MÉRŐBERENDEZÉSEK JUSZTIROZÁSA

### Jusztirozási alapelvek

A mérőberendezés üzembehelyezése, s a tényleges érdemi mérési munka elkezdése között még két teendő van: a berendezés beszabályozása (jusztirozása) és hi-



telesítése (kalibrálása). A kalibrálás a műszer skálájának ismert adatokkal, standardokkal való egybevetése. A jusztirozás folyamán arról győződünk meg, hogy a berendezés rendeltetésének megfelelően készült-e el és zavartalanul működik-e, helyesen van-e felállítva, elérhetjük-e vele az elvárható maximális pontosságot.

A műszerek jusztirozásánál különbséget szoktak tenni a gyári jusztirozás, tehát az előállító által történő beszabályozás és a felhasználó által végzett beállítás között. A gyári beszabályozás rendszerint több szakértelmet igénylő hosszadalmas művelet, amit sorozatgyártásban kellő felszerszámozással, ellenőrző műszerekkel rutinmunkában végeznek. A gyári szabályozás még nem teszi feleslegessé a műszert használó részére annak jusztirozását. Igen sok esetben gyári előírások az üzembevételt megkönnyítik, a jusztirozási teendőket leírják és pontosan megszabják. A felhasználónak sok esetben elégséges a műszerhez tartozó üzembehelyezési utasítás előírásait lelkiismeretesen végrehajtania.

A gyári és a mérő személy által végzendő jusztirozásra példaként tekintsük a mérleget: a mérlegek gyártójának kötelessége a mérleg ékeit párhuzamosan, egy síkban, egymástól lehetőleg pontosan egyforma távolságra elhelyezni, majd a jó elhelyezést ellenőrizni, stb., de mindenkinek, aki tömeget pontosan kíván mérni, meg kell győződnie arról, hogy mérlege valóban jó-e és helyesen van-e felállítva. (Vizsgálás, rezgésmentes felállítás, stb.) Egy másik példa: goniométerrel történő mérésnél a távcsövet és a kollimátort végtelenre kell állítani, ellenőrizni kell a távcső és annak irányvonalára merőleges forgási tengely állását, s a szög leolvasáshoz szükséges beosztott kör és a forgástengely excentricitásából származó hibaértékének csökkentése miatt a mérésünket a kör különböző részein meg kell ismételni, stb. A körosztás osztási hibáinak ellenőrzése, a kollimátor és a távcső optikai foglалásának ellenőrzése, stb. azonban még a gyári beállítás feladatát képezték és a műszert felhasználók ezt már általában nem vizsgálják.

Az eddig felsoroltakból nyilvánvaló, hogy olyan általános irányelveket, amelyek egyértelműen adnának különféle műszerek, laboratóriumi berendezések jusztirozásához egységes, részletes jusztirozási utasítást, megállapítani nem lehet. Még arra az általánosságra sem szorítkozhatunk, miszerint mérés előtt a használandó berendezéseket mindig a gyár utasítása szerint kell beállítani, mert sok esetben a kutatófizikus maga szerkeszti berendezéseit és az ilyen házi építésű műszer első beállítását és esetenkénti jusztirozását a kutatónak kell nemcsak megszabnia, de egyben elvégeznie is.

Lehet beszélni azonban olyan általános elrendezésekről, feltételekről, valamint eszközökről is, amelyek laboratóriumi körülmények között gyakran előfordulnak. Így általában gondoskodnunk kell arról, hogy mérőberendezésünk működését külső behatások ne zavarják. Sok esetben kell gondoskodnunk külső mechanikai rezgések zavaró hatásának kiküszöböléséről is. Gondoskodnunk kell esetenként arról is, hogy hőmérsékletváltozások vizsgálatainkat ne befolyásolják. Műszerek vagy műszeralkatrészek beállítása előtt általában meg kell bizonyosodni afelől is, hogy azok megfelelő alakúak, méretűek-e és felületük minősége kielégítő-e; ellen kell őrizni forgó alkatrészek egyensúlyi helyzetét, stb.

Célszerű még a kísérleti munka e fontos fázisát az érdemi laboratóriumi észlelő munka előtt megismerni.



## Műszerek rezgésmentes felállítása

Nagyon sok korszerű mérőműszer érzékeny mechanikai rezgésekre. Már egy fénymutatós analitikai mérleg vagy galvanométer, elektrométer érzékenysége, pontosságának kihasználását is nagyon zavarják a mechanikai rezgések.

Az utcai közlekedés nehéz járművei (villamos, autóbusz, teherautók, földalatti, stb.) talajrezgéseket keltenek és ezek a talajban elég nagy távolságra elterjednek. Az épület is átveszi ezeket a rezgéseket és így ezek mérőműszereinket zavarják. Magán az épületen belül is vannak rezgésforrások. Pl. lépcsőkön járókelők forgalma, lift, műhelygépek, ajtó csapódások, stb. Ezek a rezgések műszereinket erősen zavarják. Leghelyesebb laboratóriumi épületeket már eleve nagyforgalmu közlekedési utvonaltól távol, legalább 20 - 25 méter zöldövezettel körülvéve, pavilon rendszer szerint telepíteni és célszerű 2 - 3 emeletnél nem magasabb épületekben elhelyezni. Ahol erre az adott helyzetben nincsen lehetőség, akkor a kényes műszereket úgy kell felállítani, hogy a hozzájuk érkező rezgések amplitudóját nagyságrendekkel csökkentjük.

Az irodalomban több jól bevált, kialakult módszer is ismeretes, amellyel kb. két nagyságrenddel csökkenthetjük a zavaró rezgéseket. Ilyen rezgéscsökkentő felállítás lényege mindig egy nagy tömeg, amelyet rugalmasan függesztünk fel úgy, hogy lényegében egy nagy lengésidejű lengőrendszert képez. A legtöbb műszernél elsősorban a rezgések vízszintes komponense zavar, így elsősorban ezt kell elhárítanunk, így a felfüggesztés többnyire függőleges.

A rezgéstől ismeretes, hogy ha egy rezgő rendszer saját frekvenciája  $f_0$  és a kívülről érkező gerjesztő rezgés frekvenciája  $f$ , akkor a rezgőrendszer kikényszerített rezgéseinek amplitudója  $a_0$  és a gerjesztő rezgés amplitudója  $a$  között a következő összefüggés áll fenn:

$$\frac{a}{a_0} = \left| 1 - \frac{f^2}{f_0^2} \right| \quad /7/$$

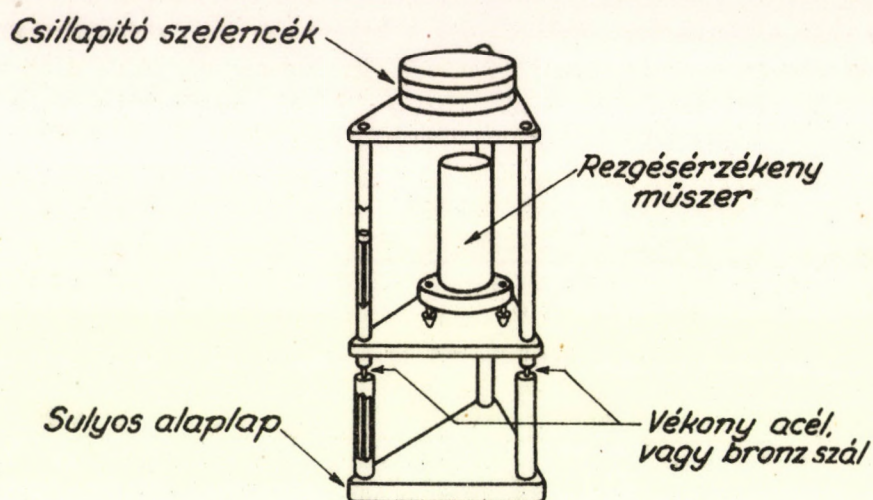
A külső zavaró rezgések rezgésszáma a tapasztalat szerint 10-15 Hz nagyságrendbe esik vagy annál nagyobb. Nyilvánvaló, hogy ha a felfüggesztő rezgéscsillapító állvány saját rezgésszámát célszerűen  $1 \text{ s}^{-1}$  körüli értékre választjuk, akkor cca. két nagyságrenddel csökken az átvett rezgések amplitudója. Ha  $f \gg f_0$ , akkor a rezgőrendszer csillapítása ezt az arányt lényegében nem befolyásolja. Célszerű azonban csillapítani, hogy a saját magunk által keltett, vagy a légáramlatok által keltett lengések benne hamar lecsillapodjanak.

Néhány, az irodalomból ismert, jól bevált megoldást ismertetünk:

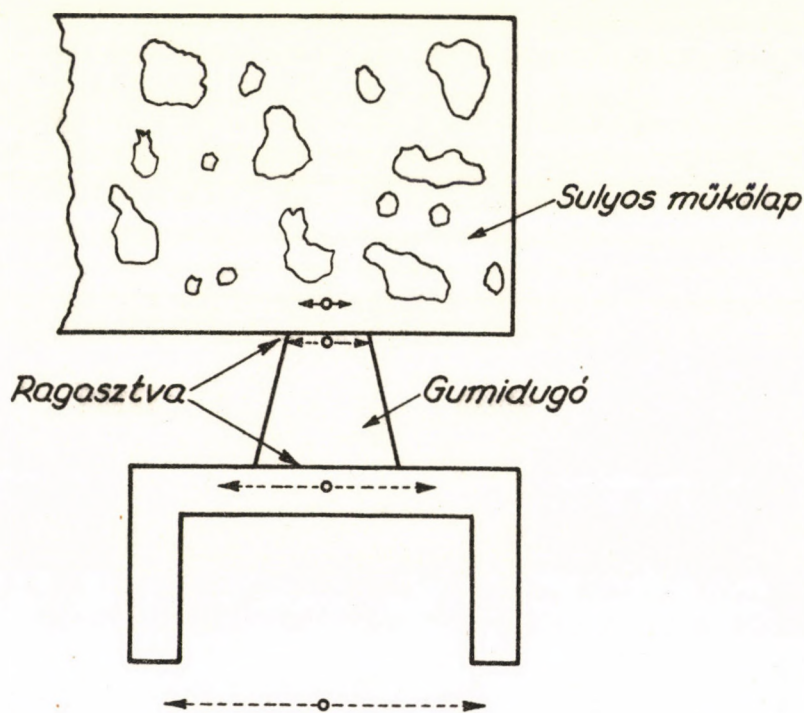
1. A Julius-féle felfüggesztés a múlt század 90-es éveiből származik és 4 évtizeden át mint egyetlen jó megoldás volt használatban. Ma már ritkán használatos, ezért csak vázlatosan tárgyaljuk.

Három, kb. 2 - 3 m hosszú acéldróton egy háromszög, vagy kör alakú nagy tömegű nehéz alaplemez függ. Erre az alaplemezre helyezzük a rezgésérzékeny műszert (pl. galvanométert). A saját rezgések csillapítására a műszertartó lapot emeletes, kettős lapnak képezzük ki. A két lapot rudak tartják össze. A felső lapra helyezett lapos henger alakú fémszelencébe olajat töltünk, amelynek mozgása a csillapítást biztosítja. Célszerűen ügyelnünk kell arra, hogy a három drót felfüggesztési pontja a





41. ábra. Müller-féle rezgésmentes felállítás.



42. ábra. Egyszerű elrendezés polc rezgésmentes felállítására.

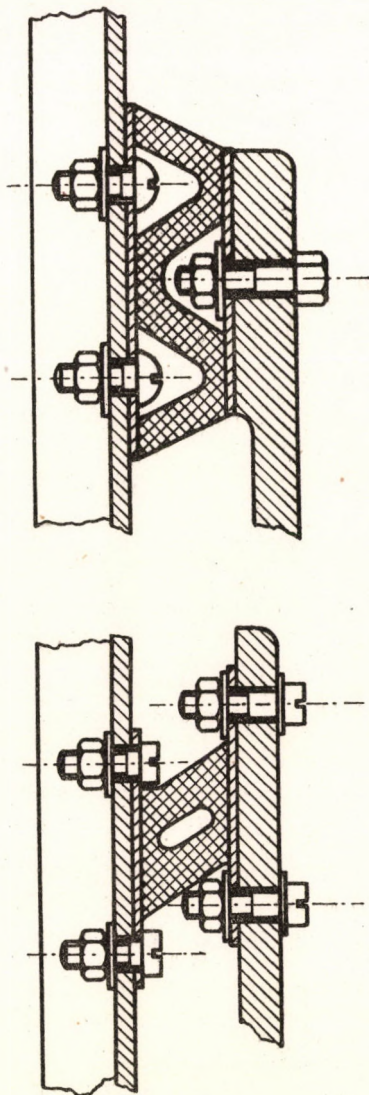
műszer tartórendszerének cca. a súlypontjába essen. A felfüggesztés hátránya: érzékeny a légáramlásokkal szemben, továbbá az, hogy nem hordozható.

2. A Müller-féle felfüggesztés hordozható és készen is beszerezhető. (41. ábra). A vízszintes rezgéskomponenst igen jól elhárítja. A függőleges felfüggesztő pálcák cca. 3 mm  $\varnothing$  ezüstacélból készülnek, hosszúak cca. 40 - 50 cm.



Egyszerű, rezgésmentes polcot készíthetünk egy súlyos (50 - 100 kg-os) márvány, műkö vagy betonlapból, amelyet egy - célszerűen fő tartófalba erősített - vas idomokból készített konzolra nem közvetlenül helyezünk el, hanem 4 db rugalmas gumidugóra állítjuk (42. ábra). A nyilak hossza a közel rezgésmentes polc egyes részein jelenlévő rezgési amplitudók csökkenését szemlélteti.

Ujabban iparilag készítenek a fent említett provizórikusan alkalmazott gumidugó helyett különféle rugalmas gumi idomokat, amelyeknek két oldalához csavarral rögzíthető fémtartó van vulkanizálva (43. ábra).



43. ábra. Rugalmas gumi-idomok alkatrészek rezgésmentes összekapcsolásához.

Különösen érzékenyek rezgésekkel szemben a kifinomodott mechanikai optikai-mechanikai és elektromos-mechanikai mérőműszerek (pl.: torziósingák, fénymutatós mérlegek, galvanométerek, mikromérlegek, elektrométerek, stb.)

Az erősen elterjedt érzékeny elektroncsöves mérőműszerek esetében elsősorban a mikrofónia zavar. Az elektroncsövek belső elektródjai zavaró mechanikai rezgések



hatására kapacitásváltozásokat szenvednek és a mechanikai zajt felerősített elektromos zajjá alakítják át. Nagy erősítésű tényezőjű erősítőkben éppen ezért speciális antimikrofónikus elektródarendszert tartalmazó elektroncsöveket használnak és a különösen kritikus elektroncsöveket gumiszivaccsal burkolják vagy éppen gumiszalagra felfüggesztve használják. A nagyérzékenységű erősítők bemenő fokozatában mikrofónia a bekötő vezetékekben és egyéb alkatrészekben is felléphet kapacitásváltozás miatt. Ez azonban merev és csillapított szerelési móddal és kapacitív leárnyékolással elkerülhető.

## LABORATÓRIUMOK KONDICIONÁLÁSA

### Klimaberendezések

Korszerű mérőberendezések üzembiztos működtetéséhez és teljesítőképességének, továbbá érzékenységének eredményes kihasználásához gyakran igen jelentősek a követelmények az állandó hőmérséklettel és olykor a levegő nedvességtartalmával szemben. Ilyenkor mesterségesen kell gondoskodnunk arról, hogy vagy az egész épületrész, illetve laborhelyiség hőmérsékletét, esetleg légnedvességét is állandó értéken tartassuk (klimatizálás) vagy egy kisméretű mérőberendezést egy termosztátban is elhelyezhetünk és így biztosítjuk az állandó hőmérsékletet.

Kondicionálást igényelnek a nagyobb teljesítményű elektronikus számológépek, nagyobb méretű konkávrácsos spektrométerek, Wilson-féle ködkamrák, komplikáltabb automatikus műszerek, berendezések. Kondicionálni szokták a részecskegyorsító berendezések helyiségét is, valamint általában nagyfeszültségű vagy elektrosztatikus berendezések helyiségeit, ahol különösen a légnedvesség kellő alacsony értéken tartására kell vigyázni.

Klimaberendezések méretezése, építése, műszaki-mérnöki feladat, ezért itt e problémával csak vázlatosan foglalkozunk.

Feltesleges hangsúlyoznunk, hogy egy egész épületrész vagy nagy laboratórium kondicionálása költséges mind beruházást, mind a fenntartást illetően. Mégis a mai korszerű mérőberendezések gyakran szükségessé teszik.

Ahol ilyen nagymérvű kondicionálásról van szó, ott az épületbe eleve külön klíma-központot terveznek be, amelyik szabályozható fűtőberendezéseket vagy hűtőberendezéseket, a levegőnedvesség beállítására szolgáló berendezéseket és a cirkuláltatáshoz szükséges ventillátorokat tartalmaz. Ilyen berendezésekben a levegőt többnyire meg is szűrik a portól, s az így kondicionált levegő légcsatornákon keresztül jut el a szükséges helyiségekbe.

A kondicionáló berendezés hőmérséklet érzékelő eleme a kontakt hőmérő (lásd később), amelyik a hőmérséklet-változás hatására egy relét kapcsol ki vagy be.

### Laboratórium kondicionálása

Igen gyakran előfordul, hogy a fizikus egy adott feladat eredményes elvégzésére saját laboratóriumi helyiségét kondicionálni vagy legalábbis termosztatizálni



kénytelen. Ennek a kérdésnek ad hoc megoldási módjával röviden foglalkozunk. Előrebocsátjuk, hogy legkönnyebben és legjobban alagsori helyiséget lehet termosztatizálni, mert itt a külső hőmérséklet ingadozások befolyása a legkisebb, legnagyobbak a falvastagságok és alulról a talaj egyenletes hőmérséklete érvényesül. A helyiségek normál fűtését, minthogy az szakaszosan működik és így rendkívül ingadozó hőmérsékletet eredményez (pl. gőzfűtés), eleve lezárjuk. A laboratórium csak a szomszédos helyiségek falán keresztül kap hőátadást. A változó hőátadást csökkenteni kell ablakok, ajtók lezárásával, lefűggönyözésével, hőszigetelésével.

Könnyebb a helyiségek hőmérsékletét magasabban stabilizálni a környezetnél, mint fordítva, mert az utóbbi esetben hűtőgépekre van szükség. Hűtőkészülékek külföldről beszerezhetők és ha okvetlenül alacsony hőmérsékleten kell dolgoznunk (pl. fotoemulziós műveletek), akkor nem kerülhetjük el hűtőberendezés beszerzését.

Egyébként a helyiség fűtését higanykapcsolóval ki-bekapcsolható villanykályhával oldjuk meg. A kályhát a helyiség egyik sarkában kéményszerűen kiképzett cca.  $1 - 2 \text{ m}^2$  keresztmetszetű légoszlopban helyezzük el, amelyben egy állandóan működő ventillátor alulról felfelé menő légcserét hoz létre és biztosítja az egész helyiség levegőjének keveredését. A légoszlopot elegendő farostlemezzel kiképezni.

A helyiség másik részében ott, ahol hőmérsékletre érzékeny mérőberendezésünk van, egy kontakt hőmérőt állítunk fel, amelyik egy relén keresztül a villamos fűtést vagy annak egy részét ki-bekapcsolja. Ilyen egyszerű provizórikus berendezésekkel könnyen elérhetünk  $1^\circ\text{C}$ -nál jobb hőmérséklet stabilitást.

### T e r m o s z t á t o k

Az állandó hőmérséklet előállítása érdekében a termosztát szerkesztésénél a következő szempontokat kell szem előtt tartani:

- 1.) El kell szigetelni a konstans hőmérsékletű térfogatot a környezettől, azaz meg kell oldani a termosztát hőszigetelését.
- 2.) A szabályozott térfogat hőmérsékletének ingadozását a hőszigetelő falon belüli jelentős hőkapacitás elhelyezésével kell csökkenteni.
- 3.) A hőmérsékletet érzékeny hőmérővel kell mérni, amelyik automatikusan ki-bekapcsolja a fűtést vagy annak egy részét.
- 4.) Állandó motoros cirkuláltatással biztosítani kell a termosztát folyadékfűrdőjében vagy levegőjében a hőmérséklet egyenletes eloszlását.

Az alkalmazott hőszigetelő feladata a környezettel való hőcserélődés minimumra való csökkentése. Anyagának megválasztásánál alapvető szempont, hogy hővezetőképessége, fajsúlya kicsi, és ezek mellett olcsó is legyen. A hővezetőképesség a következőképpen van definiálva: legyen egy  $d$  vastagságú lemez, melynek egyik oldala  $t_1$ , a másik  $t_2$  hőmérsékletű, ahol  $t_2 > t_1$ .

A melegebb oldalról a hidegebb felé  $q$  keresztmetszeten  $1 \text{ s.}$  alatt átmenő  $Q$  hőmennyiség egyszerű esetben a következő formulával adható meg:

$$Q = K \frac{t_2 - t_1}{d} \quad /8/$$



Az egyenletben szereplő  $K$  állandó a hővezetőképességi együttható  $\frac{\text{cal}}{^\circ\text{C} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}}$  egységben. Jelentése az a hőmennyiség, amely 1 s alatt 1  $\text{cm}^2$  felületen egységnyi hőmérséklet-gradiens ( $\frac{t_2 - t_1}{d} = 1$ ) mellett a hidegebb oldal felé átlép. Az anyag hővezető képességéről  $K$  értéke ad felvilágosítást. Néhány hőszigetelés szempontjából fontosabb anyag hővezetőképességi együtthatóját a II. táblázat adja meg.

II. táblázat

| Néhány anyag hővezetőképességi együtthatója |   |
|---|---|
| anyag                                       | $K \left[ \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}} \right]$ |
| fa  | 0,003   |
| parafa                                      | 0,00072   |
| fűrészpor                                   | 0,00012   |
| toll  | 0,00004   |
| vatta                                       | 0,00004   |
| üveg (tábla)                                | 0,0025  |
| aszbeszt-papir                              | 0,0006  |
| közönséges tégl                             | 0,0015  |
| tűzálló tégl                                | 0,0005  |
| száraz homok                                | 0,0009  |
| magnézia (MgO)                              | 0,00016   |
| magnézia (1100 °C-on)                       | 0,0072  |

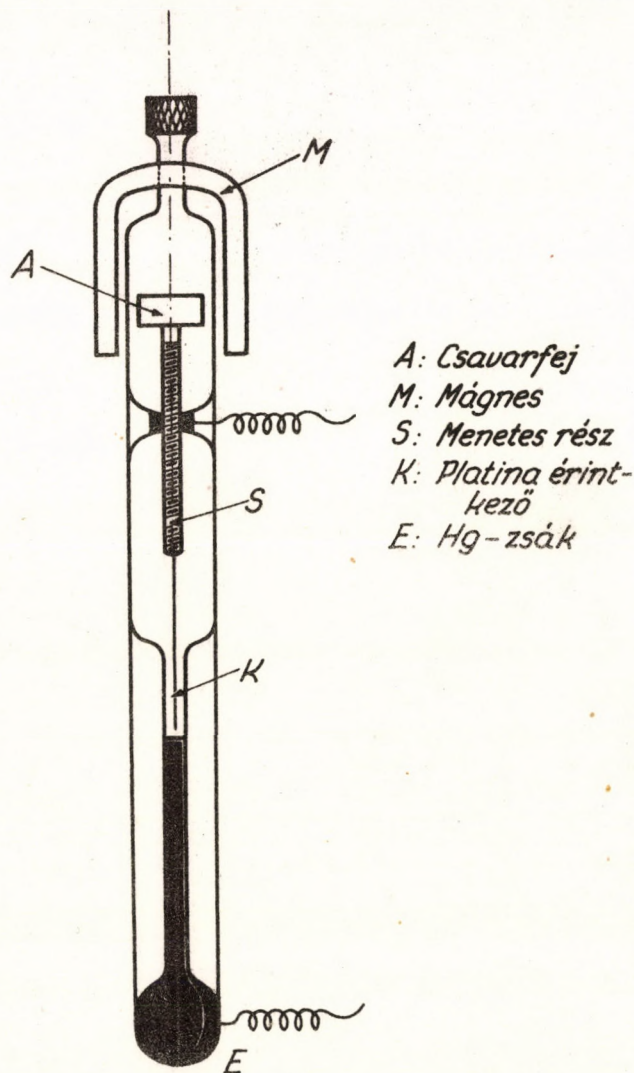
Nagy hőkapacitás nagy fajhőjű és nagy tömegű anyag bevitelével biztosítható. Fix hőmérsékletű termosztát esetén felhasználható a hőmérséklet-ingadozás kiküszöbölésére a látens hő (pl. olvadó jég 0°C,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  32,4°C,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  48,0°C). Természetesen ebben az esetben termoregulátor nem szükséges, de csak a rendszer által adott hőmérsékleten dolgozhatunk, nem szabályozhatjuk azt.

Állítható hőmérsékletű termosztát esetén fürdő gyanánt 100°C -ig víz, azon felül 180°C -ig olaj, 210°C -tól 630°C -ig  $\text{BaCl} + \text{NaCl}$  7:2 arányú olvadék keveréke használható. 180°C felett kb. 1000°C -ig általában légfürdő használatos. A termosztát fürdője üvegcádban vagy zománcozott fém, illetve rozsdamentes acéledényben helyezhető el.

A termosztát folyadékának áramoltatása elektromos centrifugál-szivattyúval történik. Egyszerű termosztátokban a vízfürdő alakjának alkalmas kiképzésével a termoszfonos hatás is elég a folyadék keverésére. A termosztát hőmérsékletének beállítására termoregulátort (kontakt-hőmérőt) használnak. A különböző típusú termoregulátorok működése gázok, folyadékok, szilárd testek hőkoztá kitágulásán alapul. Régebben elterjedten használatos volt a toluolos-termoregulátor. Ma egyszerűbb termosztátokban bimetáll szalagos regulátort, pontosabb műszerekben kontakt hőmérőket használnak. Kontakt hőmérők készülnek egy v. két fix pontos kivitelben, meghatározott célra. Által-



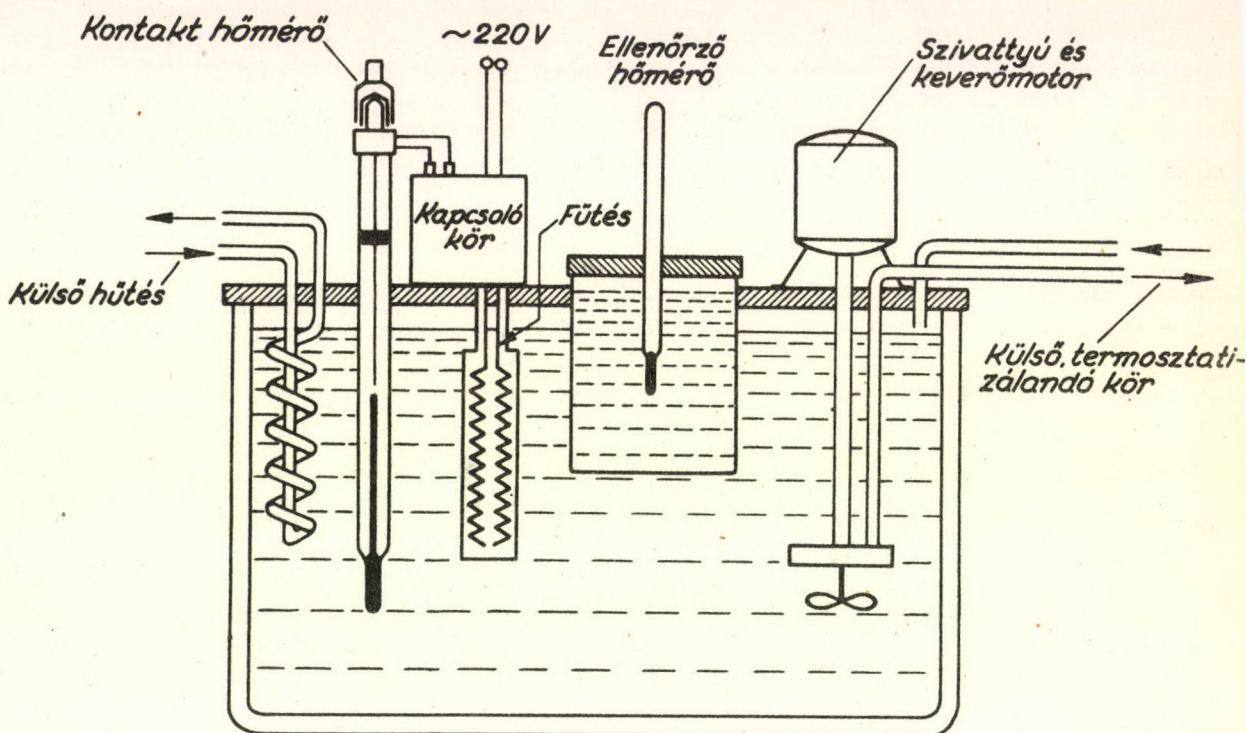
lánosabban használhatók az állítható kontakt hőmérők. Ezek hajszálcsővében a hőmérő felső részén elhelyezett mozgatható platinahuzal van, s ennek állításával az érintkezés kívánt hőfokra állítható. A kontakt hőmérő felépítését a 44. ábra mutatja.



44. ábra. Kontakt hőmérő. Az M mágnes forgatásával az S menetes rész (és ezzel együtt a K platinaszál is) helyzete változtatható. .

A fűtőáram ki- és bekapcsolására elektromágneses jelfogó, higanykapcsoló, ujabban tiratronnal működő relé használatos (az egyszerű, pl. bimetall-regulátoros termosztátokkal max.  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$  érhető el). Készülnek olyan, igen pontos regulátorral ellátott elektromos fűtésű termosztátok, amelyekkel a hőmérséklet  $0,01-0,005^{\circ}\text{C}$ -ra állandó értéken tartható. Az ilyen korszerű termosztátokat ultratermosztátoknak nevezzük. Elterjedt típusuk a Höppler-féle. A Höppler-féle ultratermosztátok (45. ábra) 8 és 15 literes kivitelben készülnek. A folyadék duplafalu hőszigetelt edényben van és egyaránt szolgálhat az abba merülő edény folyadék fürdőjéül vagy cirkuláltatható az ultratermosztáton kívül elhelyezett berendezések hőmérsékletének szabályozására is.





45. ábra. Höppler-féle ultratermosztát.

A fürdő tetejére van építve a centrifugálszivattyú és a keverőt meghajtó motor, valamint további két cső-kivezetés a hűtőfolyadékhoz való csatlakozáshoz, amennyiben szobahőmérsékletnél alacsonyabb hőmérsékletet kívánunk előállítani.

Ultratermosztátokban használt folyadékok a következők:  $-38^{\circ}\text{C}$  -  $+30^{\circ}\text{C}$ -ig methyl vagy ethylalkohol,  $+1^{\circ}\text{C}$ -tól  $+95^{\circ}\text{C}$ -ig deszt. víz,  $+80^{\circ}\text{C}$  -  $+160^{\circ}\text{C}$ -ig glicerin,  $+70^{\circ}\text{C}$  -  $+200^{\circ}\text{C}$  olaj, melynek lobbanáspontja  $250^{\circ}\text{C}$ -nál magasabb.

Az ultratermosztátok fontos tartozéka az ellenőrző hőmérősorozat, amely különböző hőmérsékleti tartományokban működő precíziós hőmérőkből áll. A szobahőmérsékletnél alacsonyabb hőmérsékletek előállításához a hűtőfolyadék befogadásához megfelelő kapacitású, az ultratermosztátnál nagyobb térfogatu Dewar edényeket használnak.

Szobahőmérsékletnél alacsonyabb hőmérsékletet lehet előállítani a különböző típusú és a háztartásokban is használatos hűtőgépekkel. Tudományos célokra készülnek olyan kisméretű hűtőberendezések is, melyeknek párologtatója különleges kivitelű. A párologtatót a stabilizálandó közegbe (gáz, folyadék) kell elhelyezni és a készülékkel azt 1 - 5 m hosszú hajlékony csővezeték köti össze. A kompresszor vezérlése történhet a párologtató szelep állításával és kontakthőmérő vagy bimetáll segítségével. Nagyobb stabilizáció elérésének érdekében a két szabályozási módot kombinálják. Ilyen eljárással a berendezéssel a  $+10$  -  $-20^{\circ}\text{C}$  tartományban  $0,01^{\circ}\text{C}$  stabilitás érhető el. A párologtató korroziómentes alumínium ötvözetből, speciális kivitel esetén rozsdamentes acélból készül. Különösen előnyösen használható az ilyen hőmérséklet stabilizálása, ha a kísérleti anyagon folyamatos észlelés biztosítása szükséges (biológiai vizsgálatok, oldatok hőmérsékletének stabilizálása, stb.).



## Elektromos szárítószekrények és kemencék

Az ipar sorozatban állít elő elektromos fűtésű és durva termosztát szabályozású szárítószekrényeket különböző méretekben, amelyek hőmérséklete a szobahőmérséklettől cca.  $220^{\circ}\text{C}$ -ig tetszés szerint szabályozható. Ezek a szárítószekrények előlről nagyméretű ajtóval, belül polcokkal rendelkeznek, amelyekre a szárítandó laboredényzetet vagy hevítendő preparátumot (pl. ragasztások hőre polimerizálódó műgyantákkal) elhelyezhetjük. A szárítószekrények a hőgazdaságosság céljából a laboratóriumtól természetesen hőszigetelő burkolattal vannak ellátva és fűtőteltjesítményük néhány 100 W-tól 1 - 2 kW-ig terjed. Belsejükbe felülről egy higanyos hőmérő nyulik be, amelyről a pontos hőmérsékletet leolvashatjuk. A termosztát szabályozó eleme bimetall. A szabályozás nem túlságosan érzékeny,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  pontossággal lehet az ilyen szárítószekrényeket beállítani. Preparatív munkát is végző laboratóriumban az ilyen szekrények nélkülözhetetlenek.

Az ipar különböző méretű elektromos kemencéket is sorozatban állít elő, amelyeknek hasznos tere néhány cm átmérőjű henger, amely keramikus anyagból (samott és más keramikus anyagok) készül. Ez a keramikus cső kívülről már eleve speciális bordázattal van ellátva, amelyikbe a levegő oxidáló hatásának elég jó ellenálló és magas olvadási pontu fémötvözetből készült fűtődrótot csavarnak. A drót anyaga lehet króm-nikkel ötvözet, amikor is a kemencét kb.  $900 - 1000^{\circ}\text{C}$ -ig használhatjuk. Még valamivel magasabb olvadáspontu a kanthal ötvözet, amellyel  $1100 - 1200^{\circ}\text{C}$ -ig is felmehetünk. Ezeket a kemencéket legcélszerűbben úgy konstruálják, hogy a belső hasznos teret képező és a fűtő spirálist hordozó keramikus csövet egy kívülről ráhuzott, nagyobb átmérőjű keramikus cső burkolja. E köré jön a hőszigetelést képező laza, pelyhes szerkezetű (pl. tépett azbeszt rostokból és magnézit porból készült) hőszigetelő burkolat, amelynek rétegvastagsága többnyire 10 cm vagy annál nagyobb. A legkülső burkolat vaslemezről készül. A közvetlen érintkezést a fűtődrót és a hőszigetelő anyagok között ilyen magas hőmérsékleten már el kell kerülni, mert ez a drót korróziójához vezethet. Az iparilag sorozatban készülő ilyen kemencéket többnyire a hálózati feszültségre méretezik; nagyobb teljesítmény esetén tolóellenállás helyett célszerű toroid transzformátorral szabályozni azokat, mert különben a tolóellenálláson is a kemencével összemérhető nagyságrendű hő termelődik.

Ilyen magasabb hőmérsékletnél már nem könnyű feladat a termosztátot kiképezni, de ez olykor - pl. olvadékból kristálynövesztési kísérletekhez - elkerülhetetlen. A hőmérséklet mérése ilyen hőmérsékleten termoelemmel történik. Legcélszerűbb platina és 90 % Pt + 10 % Rh ötvözetből kombinált termoelemet használni. Ha a termosztát szabályozására van szükség, akkor természetesen a kemencét körülvevő külső hőmérsékletnek is állandónak kell lennie, tehát vagy az egész laboratóriumnak is állandó hőmérsékletűnek kell lennie, vagy a kemencét kívülről vízűtéssel kell körülvenni. Termosztát kiképzés esetén a kemencét célszerű nagy hőkapacitásúra elkészíteni és vastag hőszigetelő burával is körülvenni, hogy a környezet hőingadozását csak lassan kövesse.

A kemencék készítéséhez szükséges speciális keramikus testeket, idomokat a kerámiai ipar állítja elő és azok készen beszerezhetők. Felmerülhet annak a szükségessége, hogy a fizikus kisebb keramikus darabokat kénytelen készíteni bevezetések rögzítésére, a kemencébe helyezett tárgyak tárolására, stb. Ilyeneket készíthetünk pl. pyrofilitből. A pyrofilit, talkum (zsirkó), lényegében elegendő tisztaságú természetes magnéziumaluminium-szilikát. Ezen természetes kerámiapótló ásványok előnye, hogy hő-



kezeletlen, légszáraz állapotban puhák. Jól forgácsolhatók, megmunkálhatók, azokból a szükségnek megfelelő idomok kialakíthatók. 1200°C-körüli hőmérsékletre izzítva a szerkezetileg kötött víz leadása mellett az anyag kristályszerkezete is átalakul, ami az anyag Mohs-skálán mért korábbi 1 keménysége helyett 6 - 7 keménység elérését jelenti. Ilyen keménységű anyagot már csak köszörüléssel vagy gyémánttal lehet megmunkálni. Előnye ezen anyagoknak, hogy az izzítás folyamán formatartók, azaz a hőkezelés előtti méretükhöz viszonyítva legfeljebb 2 - 3 %-ot zsugorodnak, továbbá magas vákuumban is alkalmazhatók. Hazai viszonylatban a felsőcsatári bányából származó talkum használható ilyen célra.

Mintegy nagyobb elektromos kemencék készen is beszerezhetők (sorozatban készülnek), ezekkel a továbbiakban részletesen nem foglalkozunk. A fizikus praxisában azonban gyakran előfordulhat, hogy kisebb térfogatu, hordozható kemencéket kell ad hoc készíteni olyan feladatra, ahol a kereskedelemben kapható nagyobb kemencék már nem használhatók. Ilyen feladat lehet pl. vákuumpadra felforrasztott üvegberendezés kikályházása a jó vákuum elérése céljából. A használt üveg lágyulási hőmérsékletétől függően ilyenkor cca. 350°C körüli hőmérsékletre van szükség. Ilyen, de legfeljebb 500°C hőmérsékletig vékonyfalu vas vagy sárgaréz csőből is készíthetünk kis, könnyű kemencét a szükséges méretben. A kemencét úgy készíthetjük el, hogy a fémcsőre higitott (cca. 5 %-os) vízüveggel átitatott azbeszt papírt csavarunk szorosan több rétegben. (Nedves állapotban erősen rácsavart spárgával csavarmenetet is tudunk belenyomni.) Kiszáradás után erre a csavarmenetre fektetjük a króm-nikkel drótot vagy lapos króm-nikkel szalagot. Ha drótot alkalmazunk, akkor az ne legyen túlságosan vékony és ebből spirál rugót csévélünk és aztán rugalmasan huzzuk rá a fűtőtestre. *Angerer* könyve azt javasolja, hogy a fűtődrótot ezután vízüveg és talkumpor keverékéből álló kittmasszával kenjük be és így rögzítsük. Ez esetben csak teljes kiszáritás után szabad elektromos áramot belevezetni, hogy elektrolízis ne lépjen fel. Azbeszt szigetelő zsinór is kapható a kereskedelemben, és ezzel is becsévélhetjük a fűtőtestet egy igen vastag réteggel, hogy a hőszigetelést is biztosítsuk. Mindenesetre magasabb hőmérsékleten az ilyen típusú kemencéknél a drót korrozójával kell számolni, mert az érintkezésbe léphet a vele érintkező szilikát anyagokkal.

Gonddal kell eljárni a drót végénél az elektromos csatlakozás elkészítésénél. A drót végét mintegy 10 cm hosszban tisztára vakarjuk. Kétszer visszahajtjuk, hogy négyszeres legyen. Ezután laposfogóval önmagával keményen összesodorjuk és két sorban szorosan csupasz vörösrézhuazalt csévélünk az így megvastagított végződés legvégső szakaszára.

A huzalellenállás méretezéséhez az előállító cégek táblázatokat adnak. A króm-nikkel fajlagos ellenállása cca. 1 Ohm·mm<sup>2</sup>/m, a kanthal cca. 1,5 Ohm·mm<sup>2</sup>/m.

Egy nagyobb vákuumpadhoz komplett kihevitő szekrényt is készíthetünk négyszögletes doboz alakban, amelyik felülről csigákra át sodrott drót kábellel a kihevítendő darabra ráhuzható és súlyát ellensúlyok tartják. Az ilyen kihevitő szekrényt L-vas keretekkel összeerősített vaslemezekből készíthetjük el, s belül több réteg azbeszt lemezzel szigetelhetjük. A fűtőtesteket a belső falon belül szabadon helyezük el és azok lapos csillámra csévélte króm-nikkel szalagból készülhetnek. Felhasználhatunk villanyfűzők készítéséhez használt lapos és horonnyal ellátott fűtőtestet vagy vasalóbetétet, stb. is. Minthogy ilyen kihevitő kemencék belső cirkulációjára különleges kavaróberendezés többnyire nem készül, a fűtőtesteket egyenletesen kell elosztani, hogy a hőmérséklet eloszlása nagyjából egyenletes legyen.



1000°C-nál magasabb hőmérsékleten használható kemencék előállítása már nehezebb feladat. Fűtőtestként a szokásos fémötvözetek már nem használhatók, ha a légkör oxidációs hatásának ki vannak téve. Használható platina drót vagy szalag, de költségessége miatt kivételes esetektől eltekintve nem terjedt el. Sokkal könnyebb a szerkesztés, ha a fűtődrótot nemesgáz atmoszférával (pl. argon) tudjuk körülvenni; az ilyen konstrukció azonban körülményes. Kereskedelmi forgalomba hoznak olyan kemencét, amelynek fűtőeleme félvezető sziliciumrud. Az ilyen kemencékkel 1450°C -ig lehet felmenni. Fűtőelemei szilícium-karbid rudak, amelyek készen kaphatók. A félvezetők ellenállása növekvő hőmérsékleten csökken, ezért az ilyen kemencéket szabályozó transzformátorral tápláljuk és ügyeljünk arra, hogy növekvő hőmérsékleten a transzformátor feszültséggel menjünk vissza.

Igen jól használhatjuk a wolfram drótot fűtőspirálisnak magas vákuumban. Hosszabb időn át 2500°C-t előállíthatunk magas vákuumban, wolfram spirális belsőjében, s kis térfogatban. A magas vákuumban a szokott hőszigetelő anyagokat már nem használhatjuk, mert azok igen sok gázt adnak le. Ilyen magas hőmérsékleten azonban elsősorban a sugárzó hő okoz igen nagy energia-veszteséget, ezért a fűtőspirális kívülre, de még a vákuumon belül molibdén fémből készült reflektorral kell körülvenni.

Nagy hőmérsékletet állíthatunk elő grafit kemencékkel, amelyek lényege egy, a két végén vezetőpofákkal és kábelekkal ellátott grafitcső, amelyet alacsony feszültséggel, de nagy áramerősséggel mintegy rövidzárlatban izzítunk. A grafit olvadáspontja rendkívül magas és bár a levegő oxigénjével idővel elég, mégis célszerű szerkezeti kivétel esetén mesterséges védő atmoszféra nélkül is lehet használni, annál is inkább, mert a grafit cső olcsó és könnyen kicserélhető. Szerkezete egyszerű, mert a cső maga képezi egyrészt a szerkezeti anyagot, másrészt a fűtőtestet. Kívül hőszigetelésként apróra tört faszénnel vesszük körül, ami a levegő oxigénjét kívülről elnyeli. Ha belső terét grafit dugókkal elzárjuk, akkor a kezdeti égésből származó széndioxid a további égést megakadályozza, minthogy a levegő átáramlását megakadályoztuk. A grafitot 700°C -tól kezdi a levegő oxigénje megtámadni és 2000°C -tól kezd párologni. Ennek ellenére a hőmérséklet rövid ideig 3000°C -ig is növelhető egy célszerűen konstruált grafit kemencével.

Igen magas hőmérsékleteket állíthatunk elő magas vákuumban elektronbombázással is.

Több ezer fok hőmérsékletet lehet előállítani szabad levegőn úgynevezett napkemencékkel. Több négyzetméter területű parabolatükörrel a Nap sugarait egy kis foltba összegyűjtve olyan hőmérsékletet állíthatunk elő, amelyen a legmagasabb olvadáspontú anyagok (pl. fémoxidok) is megolvadnak.



Az ATOMKI KÖZLEMÉNYEK évenként több számban jelenik meg. Tudományos intézeteknek, intézményeknek cserepéldányképpen vagy kérésükre díjtalanul megküldjük, kötelezettség nélkül. Magánszemélyeknek esetenkénti kérésére 1-1 számot vagy különlenyomatot szívesen küldünk. Ilyen irányú kéréseket az intézet könyvtárszolgálatához kell irányítani. (ATOMKI, Debrecen, Bem tér 18/c. Levélcím: Debrecen 1. Pf. 51.)

Szerkesztő Bizottság: Szalay Sándor elnök, Gyarmati Borbála titkár, Berényi Dénes, Csikai Gyula, Medveczky László.

Kiadja a  
Magyar Tudományos Akadémia  
Atommag Kutató Intézete  
Debrecen  
A kiadásért és szerkesztésért felelős  
Szalay Sándor az Intézet igazgatója  
Készült az Intézet "Zetaprinton" típusú  
sokszorosító gépén "Rotaprint" eljárással.  
Foto- és nyomdatechnikai kivitelező  
Vencsellai István

Példányszám: 400

1968/ 6